ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XIII Avril 1954 NUMÉRO 50

SOMMAIRE

Article de Tête: Science et imagination 59

621.317.728.027.8:621.3.015.52
Décharge-étincelle sous haute tension — F. M. BRUCE — 61

551.46:582:59(729.9)
Les îles Bermudes — T. A. STEPHENSON et ANNE STEPHENSON — 72

551.510.53
Nature de la haute atmosphère — H. S. W. MASSEY — 81

669.217-13
Orfèvrerie antique — CHARLES SINGER — 86

061.231:54
La Société de l'Alambic — JAMES KENDALL — 94

58.006(448)
Le Jardin des Plantes de Montpellier — HERVÉ HARANT — 97

537.311.33:538.632
Les semi-conducteurs — KARL K. DARROW — 101

049.3
Revue des livres 106

Livres reçus 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Science et imagination

Les ouvrages de vulgarisation scientifique ont eu jusqu'ici une vogue instable et plutôt restreinte, bien qu'actuellement ils semblent enfin prendre faveur. Par contre, les récits d'imagination assaisonnés de détails scientifiques ont toujours eu du succès, surtout au cours de ces dernières années. Il paraît même que dans certains pays ils menacent de détrôner le roman policier qui y règne sans rival depuis bien des lustres. Cet état de choses devrait être bienvenu si l'on pose en principe la nécessité que le grand public soit tenu au courant des progrès de la science et du rôle qu'elle est appelée à jouer dans la vie courante, car de même qu'en l'enveloppant de sucre on «fait passer» le médicament, on peut rendre les vérités scientifiques plus attrayantes en les relevant d'une pointe de romanesque.

Il est certain que le roman est un véhicule idéal pour la diffusion des idées scientifiques, à condition pourtant qu'il ne possède pas seulement des qualités littéraires mais qu'il soit sans reproche au point de vue de la documentation. Malheureusement ils font exception les romans où ces deux conditions sont remplies, ou même recherchées: les romans d'aujourd'hui sont pour la plupart mal écrits, inexacts et mal équilibrés dans ce sens qu'on y fait une trop grande place à l'astronautique; malgré l'importance et l'intérêt de celle-ci, elle ne constitue pas le seul objectif de la science. Les auteurs et les éditeurs mettent visiblement à profit le nouvel engouement des lecteurs, sans se soucier — ni peut-être se douter — des conséquences désastreuses qui peuvent en résulter.

C'est devenu une mode, et des plus regrettables, d'introduire de la prétendue science dans les couches inférieures de la littérature populaire dont les amateurs les plus difficiles s'étaient jusqu'ici contentés de brutalités épicées d'érotisme. On cherche actuellement à rajeunir ces thèmes usés en leur prêtant l'intérêt que pourraient susciter les plus récents vocables scientifiques. Le scélérat, toujours à l'avant-garde du progrès, dédaigne l'arme automatique la plus perfectionnée et se sert d'un «lance-mésons»; il garde le contact avec ses complices au moyen d'un poste de radio «supersonique», et quand, dans ses rares moments de détente, il se distrait en compagnie féminine, c'est à l'abri d'un barrage de «rayons de la mort». Il y a tout de même quelque chose de consolant dans tout ce fatras, c'est que les forces du bien triomphent en définitive de celles du mal grâce à quelque engin «scientifique» encore plus sensationnel!

Tout en tenant compte de la tendance qu'ont les savants de se prendre trop au sérieux, et sans grossir outre-mesure le péril, il ne faudrait pas non plus le négliger. Il est d'autre part important de ne pas s'aliéner le public alors que ce sont les fonds publics qui de plus en plus défrayent la recherche scientifique. Il est entendu qu'aucun profane ne peut connaître à fond toutes les sciences, ni même une seule, sinon il ne serait plus un profane, il aurait pénétré dans le temple de la science. Il ne faudrait tout de même pas qu'il acquière des notions absolument fausses sur le comportement, les idéaux et les réalisations des hommes de science. Sous un rapport le roman scientifique mal conçu peut faire plus de mal qu'un exposé inexact: c'est quand il décrit l'homme dans le savant, au lieu du professionnel, et le représente comme un être bizarre, vêtu à la diable, agissant d'une manière irréfléchie et parfois cruelle, et, le plus souvent, appartenant à une espèce à part.

Les sciences, d'après les revues qui leur sont propres, semblent évoluer tout à fait logiquement, chaque expérience découlant de la précédente et aboutissant à une théorie générale. Il a été pourtant constaté que c'est souvent l'inspiration du moment et la conjecture ingénieuse, vérifiées ultérieurement, qui comptent. Le savant est réputé être l'esclave de la logique des faits, mais en réalité il se sert de son imagination, et aurait mauvaise grâce à critiquer le romancier qui en ferait autant. On devrait non seulement tolérer mais encourager le roman scientifique bien documenté, car il peut ouvrir des perspectives intéressantes. Il est nécessaire toutefois de tenir en laisse l'imagination pour qu'elle n'envahisse pas le domaine des vérités établies: qu'elle s'exerce au-delà des frontières de la connaissance, mais pas en-deçà.

A la question: pourquoi, dans un tel foisonnement d'œuvres littéraires d'inspiration scientifique, y en a-t-il si peu qui aient quelque valeur ? On pourrait répondre que cela n'est pas imputable à un facteur en particulier, et qu'il n'est pas possible d'autre part de discerner tous les facteurs en cause, sauf toutefois les principaux. Le talent littéraire est aussi rare que l'aptitude scientifique et les deux réunis se voient encore plus rarement chez le même individu; les éditeurs scientifiques

ne le savent que trop ! Les seules statistiques conduisent donc à penser que les bons romanciers scientifiques doivent être très rares; et l'expérience l'a confirmé. De plus on ne tire pas toujours parti du talent même là où il se trouve. Il arrive souvent que le savant qui aime écrire préfère les sujets qui l'entraînent loin de la routine journalière; c'est là une tendance naturelle qu'il ne faudrait pas tenter de réprimer, car elle peut être utile, étant donné qu'elle permet ainsi aux hommes de science d'apporter dans d'autres champs de l'activité humaine la logique rigoureuse qui — du moins selon eux — les distingue. L'écrivain doué trouve bien de quoi s'occuper sans acquérir un bagage scientifique, ce qui, quoi qu'on dise, ne se fait pas sans peine. Il s'ensuit que faute d'ouvrages de qualité le lecteur avide de récits scientifiques doit se contenter de productions à gros effets mais farcies d'inexactitudes.

Ce n'est certainement pas la «matière première» du roman scientifique qui laisse à desirer, car les découvertes de la science et leurs conséquences possibles valent bien tout ce que l'imagination peut inventer. Mais il en va autrement des écrivains. Nombre de savants qui excellent dans la vulgarisation scientifique n'ont pas encore abordé le récit d'imagination, peut-être parce qu'ils interprètent avec facilité les vérités scientifiques tandis que le roman exige, outre une technique différente, l'abandon de certaines réserves professionnelles. L'écart n'est pourtant pas grand et il est à souhaiter que dans leur propre intérêt et celui de leur profession des scientifiques entraînés à la vulgarisation tentent l'expérience de la transporter dans un cadre fictif.

La situation actuelle est inquiétante mais non désespérée. Les œuvres de Wells et de Jules Verne sont là pour prouver que la science peut donner la main à la littérature. Il est vrai que la science est aujourd'hui d'une complexité beaucoup plus grande qu'à l'époque de ces deux auteurs, mais qu'est-ce qui pourrait empêcher les contemporains de les égaler? Ce sont les principes généraux de la science et non les détails qui comptent dans le roman et il ne semble pas difficile de comprendre et de faire connaître les principes nouveaux, malgré leur multiplicité.

Le récit scientifique bien conçu ne peut que faire du bien à la science, et il est improbable, d'autre part, que les non-réussites lui nuisent. Le problème que pose l'auteur non-initié est différent: le détourner des sujets scientifiques et réserver au seul savant le droit de les traiter serait injuste et absurde, étant donné qu'il y a actuellement des amateurs parmi les meilleurs interprètes de la science. L'important est que l'écrivain soit conscient de son insuffisance et prenne soin de ne pas s'aventurer au-delà de ce qu'il sait sans avoir recours à un spécialiste. C'est d'ailleurs la règle que quelques-uns suivent. Les autres ne se soucient pas de s'en tenir au vrai ni même au vraisemblable: ceux-là sont incurables. Il faudra toujours souffrir leur voisinage. On ne pourra leur faire échec qu'en encourageant la production d'œuvres de qualité qui dégoûteront de l'article inférieur les lecteurs de récits scientifiques.

Les sciences ont acquis une place importante — voire prépondérante — dans la vie courante. Or, la littérature n'a-t-elle pas pour fonction de refléter tous les aspects de la vie ? Une littérature qui ne tient pas compte des sciences, ou les dénature, est donc défectueuse, et une réforme s'impose. Il faut se garder toutefois de tomber dans l'excès contraire en faisant la part trop large à des études trop sérieuses. C'est aux hommes de science de prendre la direction du mouvement, d'indiquer la bonne voie, en condamnant le sensationnel et le faux. Il est à souhaiter en outre qu'ils reconnaîtront l'importance d'un autre devoir qui leur incombe, celui de faire bon accueil à ceux qui viennent chercher auprès d'eux la vérité. Les écrivains devront en retour respecter l'anonymat que le savant réclame souvent pour des raisons professionnelles. C'est là que les indiscrétions de quelques-uns peuvent nuire au plus grand nombre. Par exemple, certains romans récents ont mis sur la sellette — sous des noms d'emprunt transparents — des laboratoires connus, au grand embarras des savants en cause. Une telle indiscrétion n'arrive pas souvent fort heureusement, mais le fait qu'elle se soit produite est déplorable en ce sens qu'il peut mettre obstacle à la bonne entente entre écrivains et hommes de science.

Décharge-étincelle sous haute tension

par F. M. BRUCE

Le développement considérable des systèmes de transmission sous haute tension a rendu indispensable de s'assurer une protection efficace contre les brusques surtensions orageuses. Le présent article rend compte des études expérimentales très poussées récemment effectuées sur le mécanisme de la décharge électrique dans l'air et sur les éclateurs de protection de différentes formes.

DÉCHARGE-ÉTINCELLE EN TECHNIQUE

L'étincelle de décharge, soudaine, et parfois spectaculaire, entre deux électrodes dans l'air, était connue des savants, bien avant qu'on ait pu étudier ou comprendre même partiellement sa nature physique. On obtenait des étincelles avec des bouteilles de Leyde, des machines de Wimshurst ou des bobines d'induction. L'analogie entre les éclairs et les étincelles a conduit Franklin en 1752 à faire la fameuse expérience qui a démontré leur relation précise [1]. Ses études l'ont amené à mettre au point une méthode efficace de protection au moyen de conducteurs mis à la terre, travail empirique anticipant de plus de 150 ans sur les connaissances théoriques.

Au début du siècle, les ingénieurs électriciens ont réalisé des transmissions d'énergie électrique sous haute tension alternative, ce qui a amené la mise au point de tout un appareillage spécialisé. Pour un système de transmission donné, il y a une tension optimum, déterminée par l'énergie à transmettre, la distance à parcourir, et les considérations économiques [2]. Les besoins d'énergie électrique, sans cesse accrus, ont entraîné l'élévation progressive de la tension en ligne jusqu'au niveau actuel de 380 kV. On dépasse de beaucoup cette limite dans les recherches et les tests. On peut atteindre et dépasser 1000 kV, sous une fréquence courante, avec des transformateurs d'essai montés en cascade. Cependant, il faut aussi éprouver l'appareillage dans les conditions de surtension qu'entraînent les décharges orageuses sur les lignes et l'équipement qui leur est connecté. Des générateurs d'impulsions [3], constitués par un certain nombre de capacités chargées en parallèles, et déchargées en série, simulent les phénomènes d'onde progressive. Le réseau de résistance et de capacité du circuit de sortie est ajusté de façon à donner une forme d'onde unidirectionnelle, avec un front raide, jusqu'à la valeur de crête, et une décroissance progressive plus lente de la tension sur la queue. On définit ces ondes par deux intervalles de temps, T_1 et T_2, exprimés en microsecondes: T_1 représente le temps nécessaire pour atteindre la valeur de crête, et T_2 celui qui est nécessaire pour que la tension retombe à la moitié de cette valeur sur la queue. Pour étudier des formes d'ondes qui correspondent à des conditions de service, il a fallu attendre le développement des oscillographes rapides monocourses [4], qui ont permis de définir des ondes $T_1/T_2 = 1/5$ et $1/50$ standardisées pour les essais. Si on soumet un milieu isolant à une tension par impulsion la décharge s'établit, suivant les caractéristiques du milieu et de l'onde, soit sur le front de l'onde, soit sur la crête, soit sur la queue. Dans des conditions déterminées, il s'écoule donc un certain temps jusqu'à la décharge, et il est très important de savoir comment il varie en fonction de la tension pour chaque genre d'isolation. L'isolement d'un système doit être ajusté de telle façon que dans le cas d'une perturbation orageuse, la décharge s'amorce à travers les éclateurs de protection avant que l'appareillage en bout de ligne ne soit soumis à une tension dangereuse. Supposons ainsi que les courbes I–III de la figure 1 représentent respectivement les caractéristiques d'un isolant solide, de l'isolateur de traversée et de l'éclateur à barreau de protection. Une surtension élevée, produite pendant l'intervalle A produira le percement de l'isolement solide; pendant B, elle provoquera la

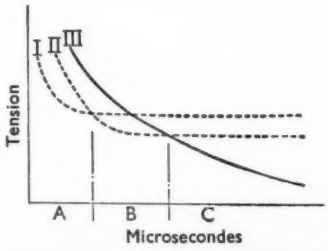


FIGURE 1 – *Tension en fonction du temps.*

formation d'un arc autour de l'isolateur; ce n'est que lorsque la tension atteindra un niveau dangereux dans la région C, que l'éclateur à barreau assurera une protection efficace. Il est nécessaire que les caractéristiques tension-temps des systèmes protecteurs se trouvent complètement au-dessous de celles de l'isolement de la ligne si l'on veut réaliser une protection complète.

Bien des problèmes qui se posent aux ingénieurs à propos d'isolement pour des tensions alternatives ou des impulsions élevées nécessitent, comme celui de l'éclateur à barreaux, des connaissances sur la décharge disruptive dans l'air. Il faut tenir compte des variations étendues de conditions atmosphériques — pollution, glace, pluie, brouillard — dont l'influence ne s'exerce pas seulement sur un éclateur dans l'air, mais aussi sur les décharges le long des surfaces exposées des isolateurs. Il est donc essentiel de bien comprendre le mécanisme de la décharge disruptive ou de l'arc pour prévoir l'appareillage de protection de façon satisfaisante.

MESURE DES TENSIONS PAR L'ÉCLATEUR

Pendant un certain temps, on estimait les tensions en mesurant la longueur maximum de l'étincelle obtenue dans l'air entre deux électrodes sphériques données — c'était la seule méthode possible; il n'y avait ni théorie du phénomène, ni contrôle par une méthode indépendante. C'est Townsend qui a élaboré le premier une théorie physique du mécanisme de la décharge dans l'air, qui a suscité jusqu'aujourd'hui des travaux théoriques et expérimentaux [5]. Certaines observations, à propos de la décharge disruptive dans les éclateurs atmosphériques sous tension d'impulsions, ont paru mettre en doute la validité du mécanisme d'ionisation secondaire postulé par Townsend, tel qu'on le comprenait alors. Si l'on augmente la tension aux bornes d'un éclateur jusqu'à une valeur $V_S + V$ supérieure au potentiel d'éclatement V_S, on constate que la décharge disruptive ne s'établit qu'après un retard mesurable. Ce retard peut se diviser en deux intervalles de temps: le retard statistique T_S correspond au temps nécessaire pour qu'apparaisse un électron favorablement placé, susceptible de faire démarrer l'ionisation primaire par avalanche d'électrons, et le retard de formation T_F, qui est le temps supplémentaire pour que le mécanisme de décharge se développe [6]. On peut agir sur T_S par irradiation de l'éclateur, mais T_F demeure une grandeur caractéristique des phénomènes physiques corrélatifs de la décharge. On trouve alors que si la tension est assez élevée, il n'y a pas de limite inférieure à T_F. On a pu observer des valeurs inférieures au temps nécessaire aux ions positifs pour traverser l'éclateur et produire l'ionisation secondaire. L'intérêt s'est alors porté sur la nature des processus secondaires actifs [6]. On a mesuré le courant de pré-décharge (I) en fonction de l'espacement (d). La courbe log I en fonction de d devrait s'incurver vers le haut selon la théorie de Townsend. On n'observe rien de semblable. Aussi a-t-on proposé une théorie de la décharge, fondée sur la charge d'espace due aux ions positifs et à l'ionisation photoélectrique du gaz. Celle-ci serait indépendante de la cathode et permettrait d'expliquer les valeurs très basses de T_F. Mais la théorie était purement qualitative, et qui plus est, il fallait revenir au mécanisme de Townsend pour les valeurs du produit pd inférieures à 200, p désignant la pression du gaz en mm, et d l'espacement de l'éclateur en cm. Cette discontinuité apparente du mécanisme, pour une valeur critique, ou un certain domaine de valeurs de pd montrait avec évidence qu'il fallait explorer expérimentalement ce domaine.

Depuis la guerre, les chercheurs du groupe de F. Llewellyn Jones, à Swansea [5] ont mis en évidence les insuffisances de la théorie de photoionisation et réhabilité le mécanisme de Townsend, aussi bien du point de vue théorique qu'expérimental. Même les faibles valeurs de T_F peuvent s'expliquer. Le succès de ces recherches vient du perfectionnement des méthodes de mesure, de l'amélioration de la stabilité, de l'adoption de plans d'expériences corrects [7]. Ne serait-ce que pour cela, le travail serait très intéressant.

Chaque progrès dans la production et la mesure précises des hautes tensions alternatives et par impulsion a permis d'obtenir de nouveaux résultats dans le domaine des éclateurs [8].

L'éclateur-voltmètre usuel consiste en deux sphères égales. La distance entre elles est inférieure à leur rayon. Avec un espacement supérieur, le champ devient appréciablement divergent, et on finit par voir des effluves qui précèdent la décharge à la surface des sphères. Le plus souvent, on utilise l'éclateur de façon asymétrique: on applique la tension élevée à une sphère, et on met l'autre à la terre. D'un laboratoire à l'autre, l'étalonnage de ces sphères donne des résultats variables. C'est l'asymétrie qui en est la cause, ainsi que la présence d'objets mis à la terre, et du bâtiment lui-même, qui augmentent le gradient à la surface de la sphère sous haute tension [9]. Pour un électron qui doit déclancher une avalanche, la meilleure position est au voisinage de la cathode,

et l'asymétrie devrait se traduire par une diminution du potentiel d'éclatement lorsque la sphère à haute tension est négative. On a utilisé alors des indicateurs de polarité pour déterminer, avec les tensions alternatives, la polarité de la sphère à haute tension au moment de l'éclatement [10]. Lorsque l'espacement est inférieur au rayon des sphères, l'asymétrie n'a que peu d'influence sur le champ, et l'étincelle de rupture est indépendante de la polarité. Lorsque l'espacement s'accroît, la proportion d'étincelles qui s'amorcent pendant la demi-période négative augmente progressivement jusqu'à 100%. Puis, si l'espacement s'accroît encore, des effluves peuvent apparaître à la surface de l'une des sphères, par suite du gradient élevé qui y règne, et les conditions anodiques prédominent, si bien que l'étincelle s'amorce pendant la demi-période positive [8]. On doit s'attendre aux mêmes effets de polarité en comparant les courbes d'étalonnages pour les tensions positives et négatives, qu'il s'agisse de courant continu ou d'impulsions, et on a trouvé une relation entre les étalonnages pour courant alternatif et impulsions [11].

On a examiné en détail la méthode de mesure des hautes tensions qui utilise des éclateurs sphériques calibrés; on a pris l'habitude de faire une série de mesures de potentiel de rupture à intervalles réguliers, et de porter sur une courbe les résultats successifs. Dans une série, on pouvait trouver des valeurs anormalement basses, que l'on expliquait par des circonstances fortuites, comme les poussières, mais jamais on n'observait de valeurs anormalement élevées. Pour améliorer la reproductibilité, on a recommandé d'irradier extérieurement l'éclateur, et de faire précéder les décharges qui doivent servir à la mesure, par un certain nombre de décharges.

Mais de nouvelles difficultés devaient surgir dans la mesure des tensions par impulsion avec des éclateurs sphériques. On a éliminé l'effet de la forme d'onde en faisant l'étalonnage pour des limites spécifiques de forme [12]. Cependant, par suite de l'étalement statistique des durées d'établissement de la décharge, on a trouvé un domaine de tension à l'intérieur duquel la fréquence de la décharge disruptive varie de 0 à 100%. On a dû alors définir comme potentiel de rupture pour un éclateur donné, celui pour lequel il y a une décharge dans 50% des cas.

ÉCLATEUR À CHAMP UNIFORME

Bien des difficultés inhérentes à l'emploi des électrodes sphériques dans les éclateurs disparaîtraient si le trajet de l'étincelle se trouvait entièrement dans une région à champ uniforme. On éliminerait ainsi les problèmes d'asymétrie, et le mouvement des ions ne serait pas perturbé par des variations longitudinales du champ. C'est le champ qui existe entre deux plans parallèles infinis, mais pratiquement il faut tenir compte des effets des limites des plans. Rogowski [13] a proposé en 1923 un contour d'électrode ayant la forme d'une équipotentielle à la limite de plans parallèles, et telle que le gradient sur les rebords curvilignes soit partout inférieur à sa valeur entre les surfaces parallèles. On ne pouvait alors ni mesurer, ni stabiliser avec précision les hautes tensions alternatives, et les connaissances empiriques sur les phénomènes d'étincelles étaient bien moins développées que dix ans après. En 1933, Stephenson [14] a proposé un contour pour électrodes à champ uniforme fondé sur des études d'effluves, et des observations préliminaires ont montré que ce contour possédait les caractéristiques voulues; on peut exprimer la tension de rupture V par l'équation:

$$V = AS + B\sqrt{S}$$

où A et B sont des constantes, et S la distance entre électrodes. L'auteur du présent article et ses collaborateurs ont entrepris dans la suite l'étalonnage de ces éclateurs sous haute tension alternative [15]. Ces électrodes consistent en une aire centrale plane, avec des rebords incurvés, et doivent être montées avec les parties planes parallèles entre elles. Si la distance des électrodes est inférieure à un certain maximum, de l'ordre du diamètre des aires planes, l'étincelle s'établit dans la région de champ uniforme. Au-delà de ce maximum, l'étincelle s'amorce entre les bords. Les dimensions des électrodes correspondent à la tension maximum à mesurer. On a procédé à l'étalonnage pour trois dimensions différentes, et examiné quelles possibilités d'erreurs entraînait le réglage, ou les effets de proximité. On a fait des recherches analogues avec des sphères de 25 cm de diamètre, pour avoir un terme de comparaison, et établir la liaison avec les travaux sur les éclateurs à sphères. Pour avoir une idée précise sur l'importance de petites variations du potentiel de rupture observées parfois, on a passé un temps considérable à mettre au point le voltmètre de crête utilisé comme terme de référence, et la précision obtenue en fin de compte est de l'ordre de 99,97%.

Quelles que soient les dimensions d'une électrode, utilisée avec l'espacement normal, le potentiel

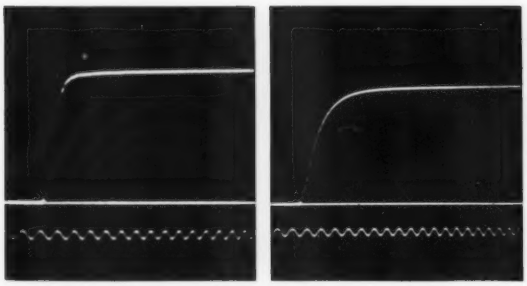


FIGURE 2 – *Fronts d'onde* 0,17 *et* 0,7 μ*sec. Ondes base de temps de* 5 *Mc/sec.*

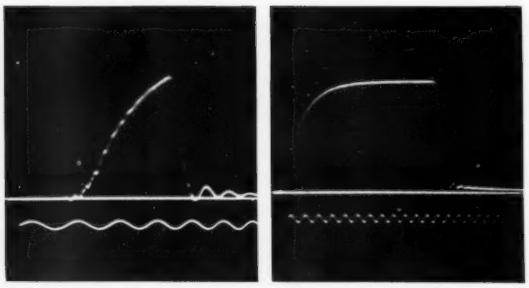


FIGURE 3 – *Enregistrement de la décharge disruptive, sur le front d'onde et sur la queue. Ondes base de temps de* 5 *Mc/sec.*

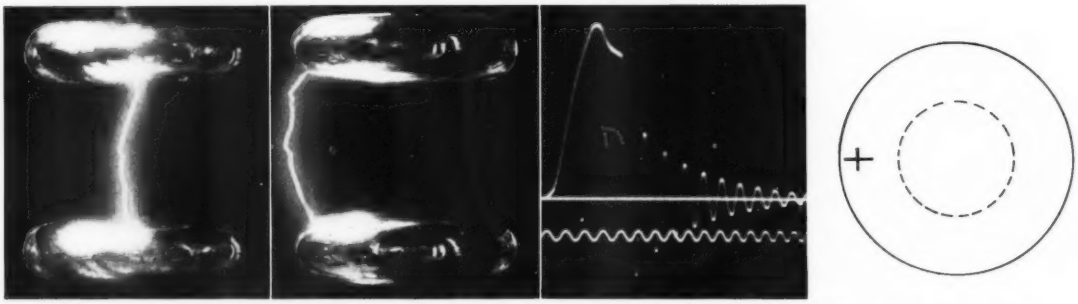


FIGURE 4 – *Décharges, principale et supprimée, en champ non-uniforme. Espacement* 8,7 *cm, électrode supérieure positive.*
Les schémas (figures 4–10) indiquent la position des points de départ des étincelles.

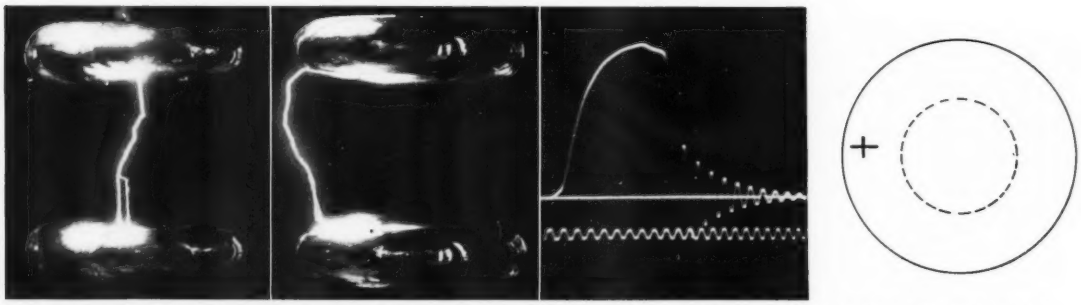


FIGURE 5 – *Etincelle dans un champ non-uniforme, avec une bifurcation. Espacement* 8,7 *cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

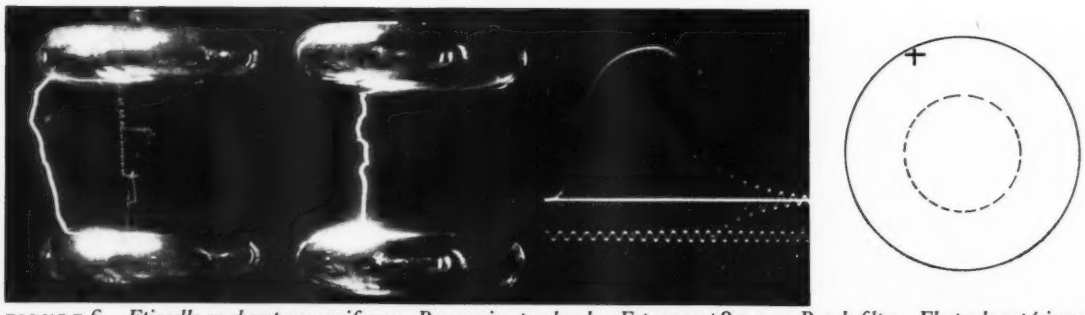


FIGURE 6 – *Etincelle en champ non-uniforme. Progression par bonds. Espacement* 8,7 *cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

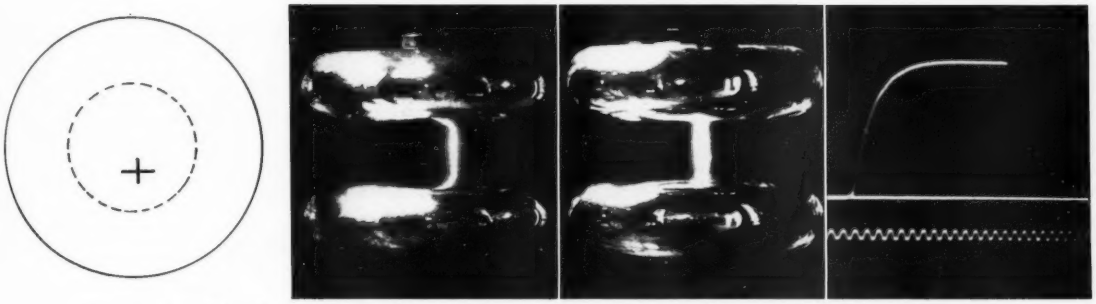


FIGURE 7 – *Etincelle en champ uniforme. Espacement 2,9 cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

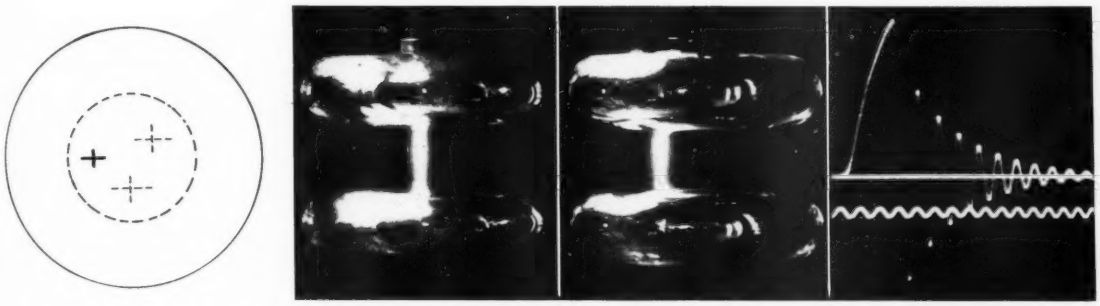


FIGURE 8 – *Etincelle en champ uniforme, avec décharges supprimées. Espacement 2,9 cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

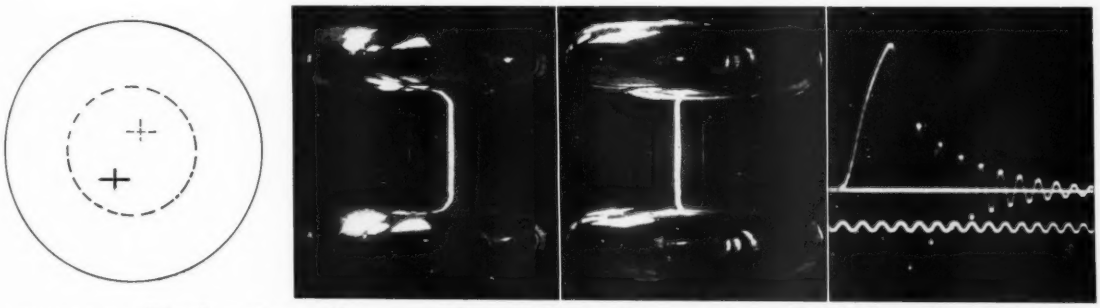


FIGURE 9 – *Etincelle en champ uniforme avec décharge supprimée. Espacement 6 cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

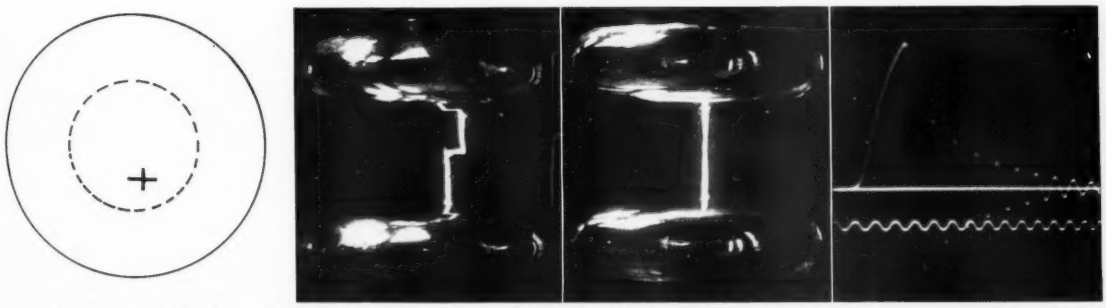
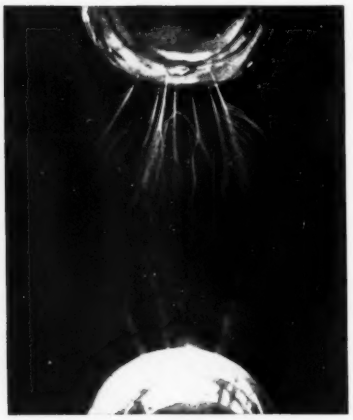


FIGURE 10 – *Etincelle en champ uniforme avec progression par bonds. Espacement 6 cm. Pas de filtre. Electrode supérieure positive.*

Sphères 6,25 *cm; distance* 25 *cm.*

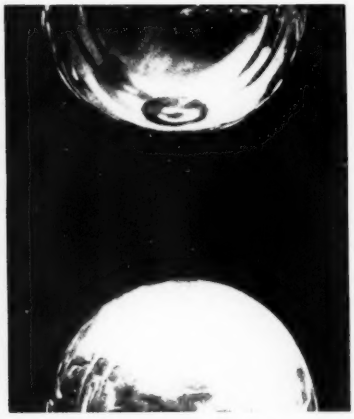
Sphères 6,25 *cm; distance* 12,5 *cm.*



Sphères 12,5 *cm; distance* 15 *cm.*

Sphères 12,5 *cm; distance* 12,5 *cm.*

Sphères 12,5 *cm; distance* 9,0 *cm.*



Sphères 12,5 *cm; distance* 6,25 *cm.*

FIGURE 11 – *Décharges supprimées dans des éclateurs à air. Sur toutes les photographies, sauf les deux dernières, la sphère supérieure est positive.*

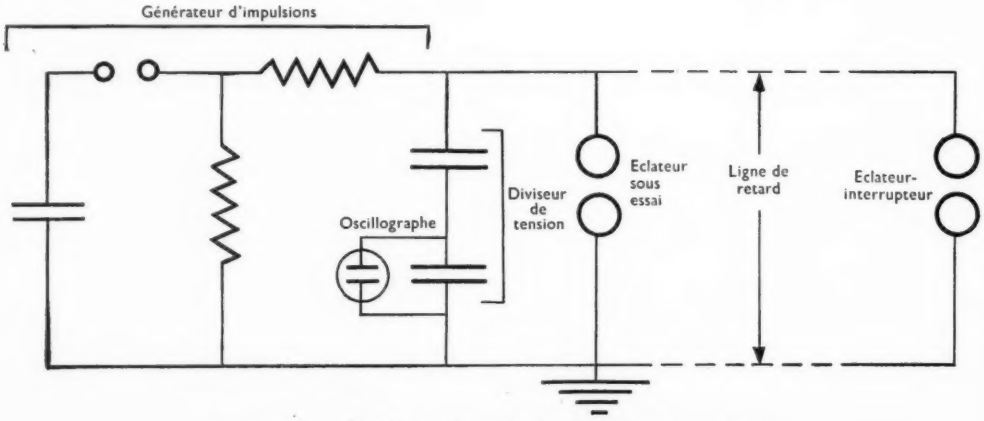


FIGURE 12 – *Circuit pour la production de décharges supprimées.*

de rupture est donné, à 20° et sous 760 mm de mercure, par la formule $V = 24{,}22S + 6{,}082\sqrt{S}$, ou V désigne la tension de crête en kilovolts, et S l'espacement en cm. Cette équation est toujours vérifiée à moins de 0,2% près, et la valeur moyenne des déviations, pour les diagrammes en série, est de 0,06%. La tension disruptive est indépendante de la polarité, et les trajets des étincelles sont répartis uniformément sur les surfaces planes. Ce dernier point indique que les surfaces sont assez planes, et assez exactement parallèles pour que le champ soit bien uniforme. Puisque chaque étincelle s'établit entre des points différents, on ne devrait pas observer d'effet de modification de surface. Ceci est confirmé par une série d'essais de polarité sur des électrodes et des sphères fraîchement nettoyées, bien qu'on ait pu observer des valeurs anormalement basses, dues probablement à des particules de poussière. Les rebords des plaques ont un effet de garde et protègent la région à champ uniforme des perturbations extérieures, qui sont bien moindres qu'avec les éclateurs à sphères correspondants, même à l'espacement maximum.

Tout ceci nous indique que l'éclateur à champ uniforme est infiniment préférable à l'éclateur à sphères pour la mesure des tensions d'impulsion. Pour la même raison, c'est la meilleure forme d'éclateur pour étudier le mécanisme de décharge disruptive. Il n'y a pas d'effet de polarité, l'étincelle peut s'établir dans un champ uniforme de volume appréciable, et ceci accroît d'autant la probabilité qu'un électron se trouve placé favorablement pour déclancher la décharge. Quelques observations relatives à la mesure des impulsions négatives périodiques confirment ce point de vue [16].

On a aménagé des installations pour les recherches sous haute tension au Royal Technical College, à Glasgow, ce qui a permis à l'auteur du présent article de commencer un certain nombre de recherches sur les caractéristiques des étincelles, en profitant particulièrement des avantages que donnent les éclateurs à champ uniforme. On a déjà fait mention en 1951 des points les plus intéressants [8] et les progrès postérieurs sont décrits ci-dessous.

RECHERCHES EN COURS

Il faut d'abord se procurer des sources à potentiel stable, et des méthodes précises indépendantes de mesurer les potentiels. On les a aménagés ces deux dernières années. Dans le cas des tensions alternatives, on a réalisé un contrôle automatique de la fréquence et de la tension des machines qui alimentent le transformateur [17]. Tous ces détails sont importants pour que le voltmètre de crête soit assez précis. On a examiné très en détail son fonctionnement. Le problème principal de la mesure d'une tension d'impulsion réside dans le diviseur de tension qu'il faut utiliser avec un oscillographe. Il est plus difficile de faire des mesures valables sur des fronts d'onde très raides. On a poursuivi les recherches sur cette question, à Glasgow comme dans la plupart des autres laboratoires de haute tension ces dernières années, et on continue. On possède un type normal d'appareil à impulsion générateur de formes d'ondes standard, mais il faut des ondes à front raide et à queue étalée pour étudier les mécanismes d'étincelle; on a construit pour cela des générateurs à impulsions donnant jusqu'à plusieurs centaines de kV. Comme la plupart des expériences ont un caractère statistique, il est important que le générateur donne des tensions identiques, si nécessaire, au cours de plusieurs décharges successives. Il faut alors une tension de charge stable, et mesurée avec précision. Le but de ces remarques sur l'appareillage et les techniques est de souligner le fait que nos recherches visent à une précision supérieure à celle qui est usuelle dans ces études.

EFFET DE L'IRRADIATION SUR LA DÉCHARGE DISRUPTIVE SOUS L'EFFET D'IMPULSIONS

On a utilisé un générateur d'impulsions, avec une tension de sortie maximum de 100 kV, si bien qu'on peut restreindre les éclateurs, et les structures des supports, à des dimensions qui permettent une protection électrostatique complète. Jusqu'à présent, on a utilisé les formes d'onde 0,17/250 et 0,7/250 (voir figure 2). On a reproduit sur la figure 3 des enregistrements caractéristiques de la décharge disruptive sur le front d'onde et sur la queue. On a publié [18] des courbes de transition, correspondant à une proportion de décharge allant de 0 à 100%, sous diverses irradiations, avec des éclateurs sphériques. Nous avons voulu étendre ce travail aux cas de champs uniformes de formes d'onde plus diverses, et de décharges localisées sur le front d'onde. On fait simultanément des mesures avec des électrodes sphériques de 6,25 cm de diamètre.

Lorsqu'on travaille sans irradiation, l'éclateur est complètement enfermé dans une boîte en presspahn, de dimensions convenables. On utilise la lumière des éclateurs du générateur pour l'irradiation ultra-violette, et l'équivalent de 0,5 mg de radium, inséré sous la surface d'une électrode,

pour l'irradiation au radium. On a caractérisé l'effet relatif de ces facteurs par les courbes de transition des figures 13 à 16; l'espacement de l'éclateur restant 2 cm dans tous les cas. On porte la variation de tension ΔV, qui correspond au passage de 0 à 100% de décharge disruptive, en fonction de la tension qui ne produit pas de décharges. En l'absence d'irradiation (figures 13 et 14), ΔV est bien moindre avec l'éclateur à champ uniforme qu'avec les sphères, et n'est pas beaucoup influencé par la polarité ou les changements de front d'onde. On a tracé des courbes avec irradiation, correspondant respectivement à des fronts d'onde de 0,17 et 0,7 microsecondes (figures 15 et 16). Dans le cas de l'éclateur à champ uniforme, on peut représenter sur une seule courbe toutes les combinaisons d'irradiation, de polarité, de front d'onde. Avec les sphères, l'irradiation ultra-violette est moins efficace que le radium pour diminuer ΔV, surtout avec un front d'onde plus étalé. Dans les quatre cas se confirment les avantages attendus de l'emploi d'éclateurs à champ uniforme dans ces conditions. Dans la pratique, on définit le potentiel de rupture comme celui qui correspond à 50% de décharges. Nous proposons, comme terme de comparaison, la pente de la courbe au point qui correspond à 50% de décharges. On donne les résultats sur le tableau.

A partir d'oscillogrammes pris au cours de ces essais, et avec des surtensions, on peut mesurer le retard à la décharge disruptive: c'est le temps qui s'écoule entre l'instant où la tension atteint sa valeur de crête et le début de la décharge, l'éclateur étant réglé pour une tension alternative déterminée. La valeur de crête de l'impulsion appliquée dépasse la tension correspondant à une décharge nulle d'une certaine fraction, sur les courbes ΔV. C'est la surtension. La courbe des valeurs moyennes est remarquablement régulière (figures 17 à 20), sauf dans le cas de l'éclateur sphérique non irradié, qui donne des points dispersés. On retrouve encore un fonctionnement

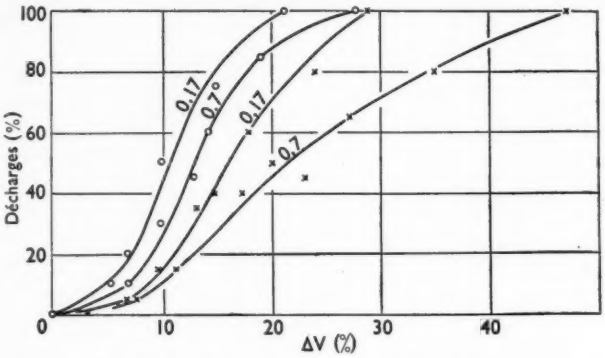


FIGURE 13 – *Sphères 6,25 cm, non irradiées, fronts d'onde de 0,17 et 0,7 μsec.* o = *ondes positives;* x = *ondes négatives.*

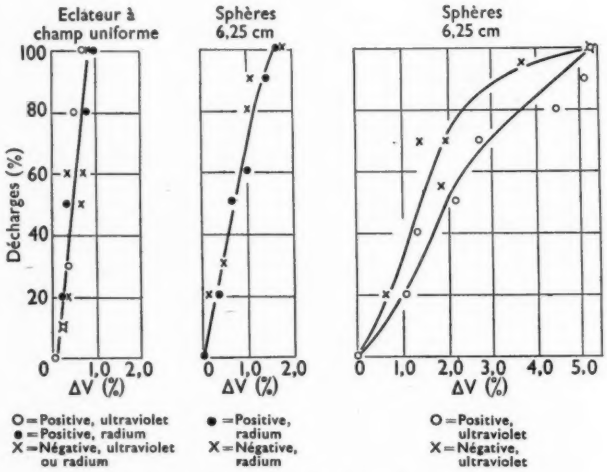


FIGURE 16 – *Courbes pour le front d'onde de 0,7 μsec.*

TABLEAU

Variation de V, exprimée en %, correspondant à la transition 0–100% mesure de l'efficacité des éclateurs étudiés

Irradiation	*Sphères, 6,25 cm*				*Electrodes Ch. U., 140 kV*			
	Positive		*Négative*		*Positive*		*Négative*	
Front d'onde =	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7	0,17	0,7
Nulle ..	21,0	27,0	28,0	46,0	8,8	9,8	11,0	13,0
Ultraviolet ..	2,8	5,2	2,8	5,2	0,8	0,7	0,6	0,8
Radium ..	1,6	1,6	1,5	1,7	0,8	0,9	0,8	0,8

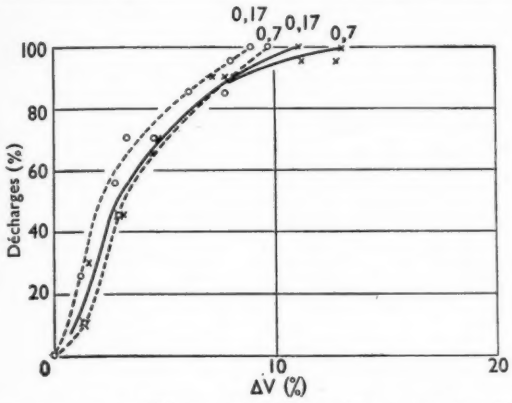


FIGURE 14 – *Eclateur à champ uniforme, non-irradié.* o = *ondes positives;* x = *ondes négatives.*

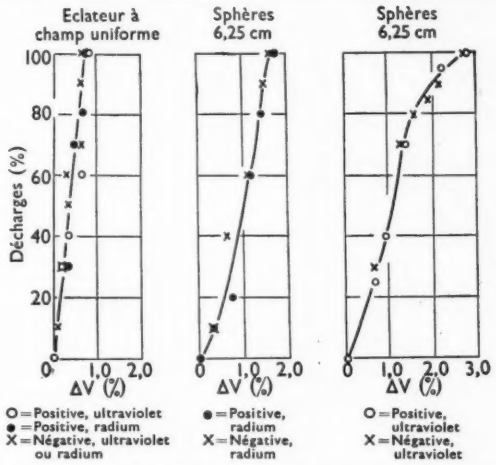


FIGURE 15 – *Courbes pour le front d'onde de* 0,17 µ*sec.*

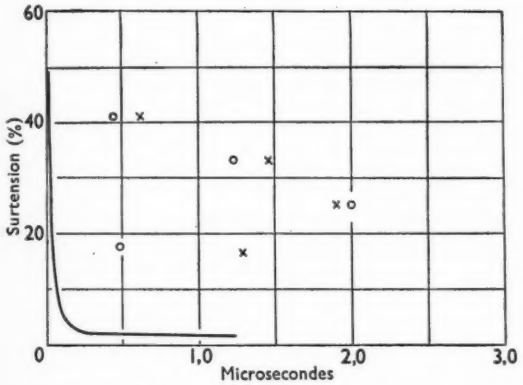


FIGURE 17 – *Sphères de* 6,25 *cm, retard pour un front d'onde de* 0,17 µ*sec. Courbe = éclateur irradié, ondes* ±; o, x = *éclateur non-irradié, ondes* ±.

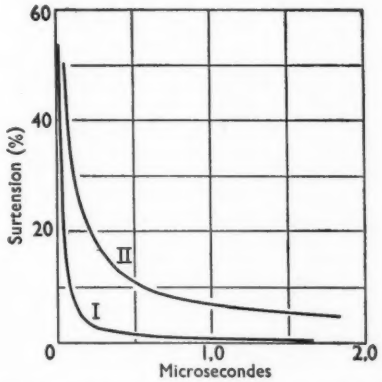


FIGURE 18 – *Eclateur à champ uniforme, retards pour des fronts d'onde de* 0,17 µ*sec; I = irradiation ultraviolette ou au radium, ondes* ±; *II = sans irradiation.*

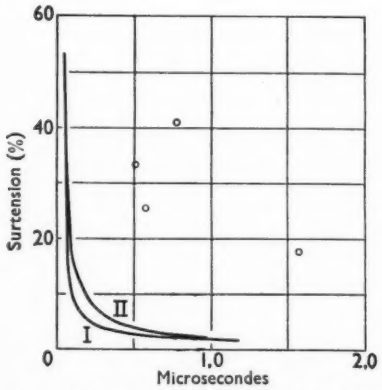


FIGURE 19 – *Sphères de* 6,25 *cm, retards pour front d'onde de* 0,7 µ*sec; I = radium, ondes* ±; *II = ultraviolet, ondes* ±; o = *sans irradiation, positive.*

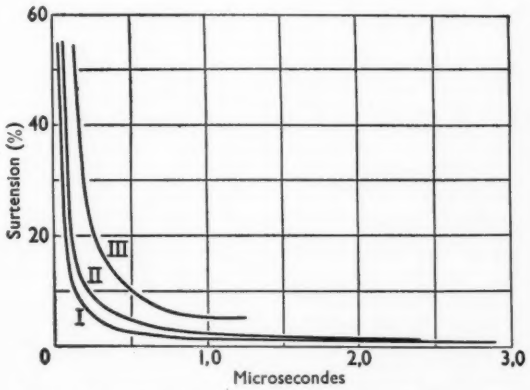


FIGURE 20 – *Eclateur à champ uniforme. Retards pour un front d'onde de* 0,7 µ*sec. I = ultraviolet, ondes* ±; *II = radium, ondes* ±; *III = sans irradiation, ondes* ±.

relativement stable avec l'éclateur à champ uniforme, sans irradiation. Pour les recherches sur le mécanisme de formation des étincelles, il faut s'attacher tout particulièrement aux caractéristiques sous très faibles surtensions, dont l'étude exige un contrôle précis de la tension de sortie du générateur d'impulsions.

PHOTOGRAPHIE DE LA TRAJECTOIRE DES ÉTINCELLES

Lorsqu'on étudie le passage de la décharge disruptive en champ uniforme à la décharge en champ non-uniforme, en augmentant l'espacement entre électrodes à champ uniforme au-delà du maximum admissible, il est important de localiser exactement le trajet de l'étincelle. On peut utiliser pour cela deux photographies, prises simultanément dans deux directions perpendiculaires; la position des bases des étincelles peut alors se repérer sur un plan des électrodes. Au moyen de miroirs, on obtient ces photographies doubles l'une à côté de l'autre avec un seul appareil photographique.

Si la tension-crête monte jusqu'à 140 kV, on trouve que la distance des électrodes doit être comprise entre 6,2 et 7,2 cm [15]. On irradie ces électrodes avec la lumière des éclateurs du générateur d'impulsions, et on vérifie que la courbe ΔV correspond aux données déjà obtenues. La première série de photographies correspond à des ondes positives 1/50, appliquées avec une surtension de 50%, à l'éclateur (distance: 8,7 cm; champ non-uniforme). Pour réduire le halo dans l'enregistrement du canal principal de l'étincelle on emploie un filtre, qui est enlevé pour l'examen des décharges supprimées. Il est difficile de se protéger complètement des éclateurs du générateur avec cet équipement plus encombrant, mais on a pris des photographies en limitant le blindage à une feuille de presspahn entre l'éclateur et le générateur. On voit les résultats sur les figures 4 à 6, avec les oscillogrammes correspondants. Sur la figure 4 on verra un grand nombre de décharges dans le champ non-uniforme; elles sont supprimées par le développement de la décharge principale. Le canal de l'étincelle est le plus fortement marqué près de l'électrode positive, et il y a des ramifications. Sur un enregistrement similaire (figure 5), on voit une bifurcation proéminente sur le canal d'étincelle principal; s'il y a des décharges supprimées, elles sont très faibles dans ce cas, bien qu'il n'y ait pas eu d'écran. Avec l'écran en position, on a enregistré une décharge par bonds progressifs (figure 6) — ce qui d'ailleurs, n'a peut-être pas de rapport précis avec le blindage. Dans les trois cas, on observe une distorsion sur l'oscillogramme juste avant la rupture; l'étude parallèle de ce phénomène et du courant de l'éclateur fera l'objet de nos recherches futures.

On voit sur les figures 7 et 8 la décharge en champ uniforme, pour un espacement de 2,9 cm, avec le blindage en position. La décharge sur la queue de l'onde, de la figure 7, a un trajet presque rectiligne. Si elle semble s'incurver aux extrémités, c'est par suite d'une réflexion sur les surfaces des électrodes. Si on applique une surtension pour obtenir l'étincelle sur le front d'onde, on voit apparaître des décharges supprimées (figure 8), mais tous les trajets sont rectilignes, et à l'intérieur de la région à champ uniforme. Pour un espacement de 6 cm, on obtient encore une décharge de champ uniforme. On voit sur les figures 9 et 10 des enregistrements de la décharge sur front d'onde. Dans le cas de la figure 9, le blindage est en position, et on peut voir une décharge supprimée en évidence. Elle présente un caractère intéressant, l'accroissement d'intensité du canal vers le milieu de l'éclateur, qui se manifeste sur les deux photographies. Dans le cas de la figure 10, on a enlevé le blindage, et on voit de façon frappante un bond dans le canal de l'étincelle. Ce n'est pas un exemple isolé de bonds en champ uniforme, et on étudiera ce problème plus avant. Jusqu'à présent, on a mis en évidence ces bonds en enlevant le blindage. Puisque le champ est uniforme, il n'y a pas de raison de penser que les avalanches d'électrons débutent en un plan plutôt qu'un autre, et cet effet de bond doit être dû à la formation d'un pont entre deux pistes d'avalanche, l'une qui commence vers le milieu de l'éclateur, et l'autre près de la cathode.

Ce développement simultané en champ uniforme, avec surtension, d'un certain nombre de canaux, indique une fois de plus que les retards sont faibles, et qu'on peut espérer une bonne reproductibilité.

DÉCHARGES SUPPRIMÉES

Nous avons parlé auparavant d'un autre programme [8], utilisant la méthode de Torok: supprimer les décharges après un certain temps, soit par réflexion dans une boucle court-circuit connectée en travers de l'éclateur, soit par interruption au moyen d'un deuxième éclateur en parallèle [19]. Nous avons eu des résultats dans cette voie, en combinant les deux techniques pour mieux contrôler la suppression. On verra le circuit sur la figure 12. La figure 11 donne un choix parmi

une série de photographies préliminaires. De gauche à droite, sur les deux rangées, on se rapproche progressivement du champ uniforme avec les électrodes sphériques. Dans les deux derniers cas, la polarité de la sphère supérieure est négative, et en comparant avec les photographies antérieures, on voit que la structure de la décharge dépend de la polarité et non de l'asymétrie. On a appliqué dans tous les cas des surtensions élevées, de l'ordre de 600 kV, avec l'intervalle de l'éclateur ajusté pour une décharge à 300 kV, puis réduit jusqu'à correspondre à 200 kV. On n'a pas encore d'enregistrement analogue pour l'éclateur à champ uniforme.

Il y a une grande analogie entre les structures anodiques et cathodiques des décharges, et les figures de Lichtenberg de polarité correspondante, et les deux phénomènes relèvent probablement de la même explication. Au voisinage de la cathode, les avalanches d'électrons divergent dans une région de champ moins intense. A l'anode, dans la région de champ maximum, les électrons sont aspirés, et laissent une charge d'espace positive, qui attire les électrons venus du milieu de l'éclateur. Ils vont donc suivre le même canal. La seconde et la troisième photographie suggèrent que les branchements s'amorcent à une distance de la surface de l'anode qui varie avec le gradient en ce point. On voit sur la 4ème photographie un canal unique, au travers d'un éclateur approuvé pour les mesures de tension par impulsion [12], mais, comme les autres, il est diffus vers la cathode. Tous ces éclateurs ont été irradiés à un degré indéterminé par les étincelles des éclateurs du générateur d'impulsions.

Des travaux contemporains, de Norinder et Salka, et de Pucher, [20], avec des éclateurs sphère-plan, conduisent à des résultats analogues au voisinage d'une sphère positive; avec une lentille de quartz, ces chercheurs ont mis en évidence une intensité très grande aux extrémités du canal.

CONCLUSION

Le travail exposé et les recherches parallèles vont bientôt permettre de donner un deuxième étalonnage de l'éclateur à champ uniforme pour les hautes tensions alternatives, ainsi qu'un étalonnage pour les tensions par impulsions sous certaines conditions. Ces étalonnages fourniront des données qui permettront d'apprécier toute variation, et l'ensemble des travaux constituera une contribution utile à la théorie de l'étincelle. D'autres recherches montreront comment le mécanisme de Townsend s'applique aux champs hautement divergents, car on étendra la technique de la décharge supprimée au cas de la décharge d'un point positif.

Dans le cas limite des longues étincelles, le cas de l'éclair, on sait que le coup d'avance progresse par une série d'impulsions de courant, ou bonds, de longueurs croissantes. Une théorie explicative [21] fait appel à une transition de l'effluve à l'arc; la technique de la décharge supprimée permettra peut-être de résoudre ce problème, si l'on trouve une colonne d'arc à l'anode d'un champ divergent, avant que la décharge disruptive ne soit complète.

REMERCIEMENTS:

L'auteur tient à remercier plusieurs membres de son groupe qui lui ont fourni des documents, en particulier Messieurs Tedford et Aked.

BIBLIOGRAPHIE

[1] FRANKLIN, B. «Autobiography», p. 135. Everyman's Library, Londres. 1948.
[2] CAHEN, F. *Beama J.*, **58**, 171, 1951.
[3] EDWARDS, F. S., HUSBANDS, A. S., et PERRY, F. R. *Proc. Instn elect. Engrs*, I, **98**, 155, 1951.
[4] BRUCE, F. M. *J. Brit. Instn Radio Engrs*, **13**, 303, 1953.
[5] LLEWELLYN JONES, F. *Rep. Progr. Phys.*, **16**, 216, 1953.
[6] LOEB, L. B. et MEEK, J. M. «The Mechanism of the Electric Spark». Stanford University Press, Stanford, Californie. 1941.
[7] LLEWELLYN JONES, F. et PARKER, A. B. *Nature, Lond.*, **165**, 960, 1950.
[8] BRUCE, F. M. *J. Brit. Instn Radio Engrs*, **11**, 121, 1951.
[9] WHITEHEAD, S. *J. Instn elect. Engrs*, **84**, 408, 1939.
[10] EDWARDS, F. S. et SMEE, J. F. *Ibid.*, **82**, 655, 1938.
[11] MCMILLAN, F. O. *Trans. Amer. Inst. elect. Engrs*, **58**, 56, 1939.
[12] British Standard 358, 1939.
[13] ROGOWSKI, W. *Arch. Elektrotech.*, **12**, 1, 1923.
ROGOWSKI, W. et RENGIER, H. *Ibid.*, **16**, 73, 1926.
RENGIER, H. *Ibid.*, **16**, 76, 1926.
[14] STEPHENSON, J. D. *J. Instn elect. Engrs*, **73**, 69, 1933.
[15] BRUCE, F. M. *Ibid.*, II, **94**, 138, 1947.
[16] COOPER, R. *Ibid.*, II, **95**, 378, 1938.
[17] MATTHEWS, J. E. *Beama J.*, **60**, 134, 1953.
[18] MEEK, J. M. *Proc. Instn elect. Engrs*, II, **93**, 96, 1946.
[19] TOROK, J. J. *Trans. Amer. Inst. elect. Engrs*, **47**, 349, 1928.
[20] NORINDER, H. et SALKA, O. *Ark. Fys.*, **3**, 347, 1952.
Idem. Ibid., **5**, 493, 1952.
PUCHER, W. VON *Ibid.*, **6**, 375, 1952.
[21] BRUCE, C. E. R. *Proc. roy. Soc. A.*, **183**, 228, 1944.

Les îles Bermudes

par T. A. et ANNE STEPHENSON

Les auteurs donnent ici un aperçu d'une étude qu'ils ont faite récemment des régions intercotidales des Bermudes dont la faune et la flore se rapprochent quelque peu de celles des régions tropicales. Ils décrivent les récifs qui entourent les îles, en indiquant en quoi ils diffèrent des récifs tropicaux. Ils ont recueilli de nombreux spécimens dont certains n'ont pas encore été identifiés.

L'archipel des Bermudes (figure 1) qui comporte environ 360 îles est pourtant très compact. La plupart des îles sont petites; cinq seulement sont d'une superficie assez considérable et sont reliées par des ponts. Les plus grandes îles sont constituées par des collines basses, et la plus grande partie des côtes est en pente raide ou à pic. Vu la position océanique, les côtes les plus exposées des îles et les récifs avoisinants sont soumis à l'action de vagues très puissantes dues à l'énorme houle atlantique; celle-ci est si persistante que dans la plupart des endroits exposés aux vagues on ne dispose dans l'année que d'un nombre limité de jours où il est possible de débarquer et de travailler. Les îles sont situées au sommet d'une montagne sous-marine et entourées, au-dessous de l'eau, par des bancs de sable d'où émergent des centaines de récifs rocheux. Ces récifs montrent non seulement une disposition définie par rapport aux îles, mais aussi des particularités de structure qui les situent parmi les produits les plus intéressants que l'on puisse trouver de la combinaison des activités organiques et inorganiques.

Parmi les récents progrès des géographies végétale et animale, se place la tentative de relier la distribution des populations de plantes et d'animaux à celle des masses d'eau de différentes températures sur la surface du globe. De nombreux faits soulignent la dépendance des organismes marins vis-à-vis d'une certaine gamme de températures pour leur existence même, et leur grande sensibilité à celle-ci pour leur distribution. Un des exemples les plus frappants a été fourni par les Bermudes elles-mêmes en 1901: une période de froid inaccoutumé dans les premiers mois de l'année provoqua la mort par le froid (à des températures cependant bien au-dessus de zéro) d'un grand nombre de poissons de mers chaudes qui vivent autour des îles ainsi que de coraux et d'autres invertébrés. On ne peut, en aucune manière, classer les eaux des Bermudes comme tropicales et bien que le terme de sub-tropical leur soit approprié, elles offrent la particularité d'être presque aussi chaudes l'été que celles de certaines régions (comme les cayes de Floride) à la limite des aires tropicales. Mais, en hiver, elles sont nettement plus froides que celles de toutes les régions tropicales, et même que celles de certaines autres régions sub-tropicales. Beaucoup d'espèces de mers chaudes vivant autour des Bermudes se trouvent donc, en hiver, à des températures très proches de la limite inférieure qu'elles peuvent tolérer et une période froide telle que celle de 1901 peut provoquer un désastre.

Les récifs rocheux qui surgissent du fond de la mer peuvent être de plusieurs types. Beaucoup ne sont que des affleurements de roches caractéristiques de la région où on les trouve. D'autres sont entièrement formés de squelettes de plantes et d'animaux vivants, dont les plus massifs, connus sous le nom de récifs coralliens, se trouvent seulement dans les mers tropicales peu profondes. Ils peuvent ne comporter aucune partie d'origine géologique et n'être formés que de squelettes d'organismes, notamment de coraux et d'algues calcaires.

Les récifs qui entourent les Bermudes sont particulièrement intéressants, étant intermédiaires entre les deux types décrits. Ils présentent toutes les formes imaginables, mais on peut les classer sommairement en deux variétés. Dans la première, le récif est totalement submergé, son sommet ne dépassant jamais le niveau de la mer et n'arrivant même pas à fleur d'eau aux plus basses marées, bien que souvent très proche de la surface. Ces récifs ont une forme irrégulière et présentent de grandes variations dans leur taille et dans le niveau auquel ils arrivent sous la surface de la mer, mais ils sont souvent très brusquement délimités et présentent habituellement des parois verticales ou surplombantes. On trouve sur leur

surface un certain nombre de coraux et des touffes de ces alcyonnaires souples et perpétuellement ondulants connus sous le nom de Gorgones. Le brun, le pourpre et le jaune sont les couleurs dominantes; toutes les nuances et les gradations possibles de ces teintes étant réalisées, l'effet est très beau. Une profusion de poissons tropicaux de toutes formes et de toutes couleurs nagent alentour. En certains endroits il y a passage direct des rochers de la côte aux récifs de ce type.

Les récifs de la seconde variété, localement appelés «chaudières», ont une structure plus particulière. Leur sommet atteint la surface de la mer et se trouve à fleur d'eau, ou très peu émergé, à marée basse, mais en temps normal les vagues bouillonnent en passant par dessus un grand nombre de ceux-ci si violemment qu'il est impossible d'y prendre pied solidement. Beaucoup ont la forme d'un entonnoir avec une tige épaisse (figure 11). A partir de la tige, le récif offre des parois surplombantes aboutissant à une bordure surélevée. A l'intérieur il existe une dépression descendant parfois au centre de l'entonnoir jusqu'au niveau du plan sableux qui entoure le récif. Les parois sont souvent perforées de trous ou de crevasses permettant à l'eau d'entrer dans l'entonnoir par le bas. Dans les cas les plus simples la forme est celle d'un entonnoir ou d'un champignon, mais dans beaucoup d'autres elle devient compliquée et irrégulière présentant une grande variété d'aspects, notamment celui d'une grappe d'entonnoirs irréguliers, ou d'un long ruban étroit (figure 2).

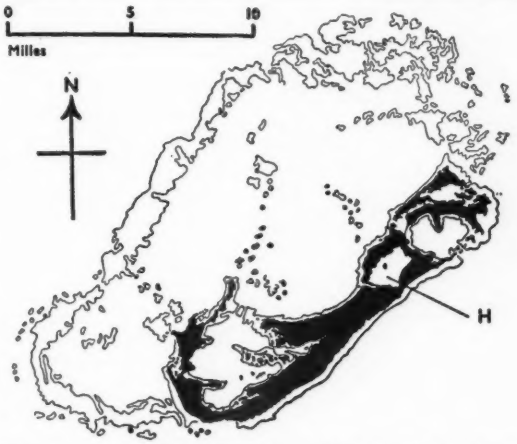


FIGURE 1 – *Les îles Bermudes. La terre figurée en noir, et, indiqués sommairement, les principaux bancs de sable d'où émergent les récifs.* H, *Harrington Sound.*

Les bords surélevés de ces chaudières (figures 2–4) sont très caractéristiques et constitués soit de rochers soit de coraux, mais surtout de tubes calcaires étroits, vermiformes, appartenant principalement à un mollusque gastéropode connu sous le nom de *Spiroglyphus irregularis*. Sur ces tubes croissent une profusion d'algues courtes, surtout brunes, appartenant principalement aux genres *Sargassum* et *Dilophus*; ce sont elles qui

FIGURE 2 – *Schéma montrant l'aspect général d'une chaudière allongée, avec une indication de la forme des parties situées sous la mer. Au-dessous: coupe d'une chaudière analogue.*

donnent aux surfaces des crêtes leur aspect très caractéristique. Des mares plus ou moins profondes sont souvent encloses par ces récifs et ces mares ainsi que les surfaces submergées fournissent souvent des coraux et des gorgones en même temps qu'un grand nombre d'algues et d'invertébrés variés.

La roche dont sont formées les îles Bermudes est connue sous le nom de calcaire éolien; elle se désagrège le long des rivages en silhouettes fantastiques et la pluie, la mer et le vent la criblent de multiples cavités. Elle s'est formée à partir de dunes de sable calcaire amassées par le vent. Il est intéressant de noter que les chaudières décrites paraissent avoir leurs fondations constituées par ce calcaire éolien sculpté par la mer, mais recouvert, et aussi protégé d'une attaque plus profonde de la mer, par *Spiroglyphus* et ses associés, près de la surface, et plus bas par d'autres organismes. Ce ne sont pas des récifs coralliens, mais plutôt des récifs rocheux transformés par l'action des vagues et complétés par celle des organismes.

Il semble d'ailleurs peu douteux que même les récifs submergés décrits plus haut ne soient pas non plus des récifs coralliens, malgré leur revêtement de coraux et de gorgones, mais des structures bâtardes de calcaire éolien recouvert sur une certaine étendue de coraux et d'autres organismes. L'eau n'est pas assez chaude en hiver pour permettre un grand développement de coraux constructeurs de récifs. Ceux que l'on trouve aux Bermudes appartiennent à un petit nombre d'espèces par comparaison à l'abondance que l'on rencontre dans le Pacifique tropical; ces espèces ne sont pas de taille comparable à celles que montrent les coraux des récifs du Pacifique; elles ne possèdent pas non plus de gammes comparables de couleurs et de formes. Leur couleur varie du brun au jaune principalement et leur forme est massive; les formes ramifiées, si abondantes dans les mers plus chaudes, ne sont représentées aux Bermudes que par le genre *Millepora*. Apparemment, le genre ramifié *Acropora*, principal constructeur de récifs, y manque complètement. Un des traits les plus spectaculaires et les plus beaux des récifs des Bermudes — les gorgones lilas, pourpres, fauves et brunes — ne caractérise pas les Bermudes en particulier, mais les récifs de mers chaudes de l'Atlantique en les opposant à ceux du Pacifique.

Dans la description des chaudières, on a fait mention des tubes calcaires de *Spiroglyphus*. Cet animal appartient à une famille de Gastéropodes, les *Vermetidae*, dont les membres n'ont pas, comme la plupart des Gastéropodes, la forme d'escargot ou de limace, mais ressemblent à des vers et sécrètent des tubes calcaires qui les fixent au rocher à demeure. Certains vermétides ont des tubes individuels petits mais on les trouve réunis par millions pouvant constituer des masses importantes de ce qu'on appelle quelquefois des roches à vers.

Tout d'abord, ces espèces dont les tubes très irréguliers ressemblent à ceux des Annélides polychètes ne présentent pas de caractères faciles à utiliser pour la classification ou l'identification, si bien qu'actuellement nous ne savons pas combien il en existe d'espèces ni exactement quelle est leur distribution. Pour bien identifier un vermétide il faut avoir l'opercule de l'animal (qui ferme l'ouverture du tube lors de la rétraction), des échantillons de coquilles de jeunes nouveaux-nés ainsi que d'adultes, sans parler des parties molles. Dans le passé, beaucoup de collections ont été constituées de tubes seulement, qui sont de peu de valeur.

Heureusement, Mlle Keen de l'Université de Stanford est actuellement en train de réviser cette famille sur des bases nouvelles. Nous lui avons envoyé des échantillons de plusieurs sources dans le passé. Dans un rapport sur notre collection de vermétides des Bermudes elle note que, dans tous les échantillons, l'espèce *Spiroglyphus irregularis* est la plus abondante, que certains comportent une deuxième espèce (*Petaloconchus nigricans*) et qu'il y a aussi des tubes de vrais vers (Polychètes) en petite quantité. Elle précise aussi qu'un troisième vermétide (*Spiroglyphus corrodens*) supposé distinct de *S. irregularis* n'en est manifestement, d'après cette collection, que la forme de développement à l'état isolé, et que *Petaloconchus nigricans*, espèce de Floride, n'avait jamais été trouvée auparavant aux Bermudes.

La position des Bermudes sur le bord de la mer des Sargasses leur donne un autre intérêt. Il est bien connu que cette mer des Sargasses est une immense étendue tourbillonnaire de l'Atlantique où flottent des masses plus ou moins volumineuses d'algues brunes connues sous le nom de sargasses, appartenant principalement à deux espèces pélagiques de *Sargassum* qui s'y développent mais sont ordinairement stériles. L'origine de ces algues est un des mystères de la biologie. On a beaucoup écrit sur elles et la question principale qu'elles posent est celle-ci: toutes ces algues flottantes ont-elles été arrachées aux fonds de la mer des Antilles où croissent des *Sargassum*, ou bien s'agit-il d'une multiplication autonome

FIGURE 3 – *Sommet de calcaire éolien, entouré par des récifs frangeants recouverts du Gastéropode vermétide:* Spiroglyphus irregularis.

FIGURE 4 – *Récif frangeant vu d'un sommet calcaire, montrant les stries de* Spiroglyphus *recouvertes d'algues courtes.*

FIGURE 5 – *La côte de Gibbet Island, montrant la zonation entre les niveaux de marées.*

FIGURE 6 – *Côte extérieure des Bermudes: végétation et calcaire éolien.*

FIGURE 7 – *Harrington Sound, étendue marine isolée du large à zone intercotidale plus étroite que la normale.*

FIGURE 8 – *Harrington Sound, floraison submergée des Sargassum attachées.*

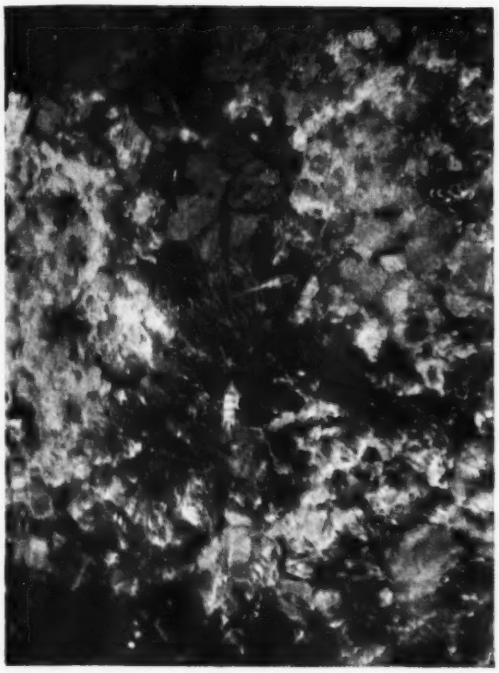


FIGURE 10 – *Coraux et gorgones submergés entourés de poissons sur un récif en mer.*

FIGURE 9 – *Vue générale des récifs chaudières, formant une ligne irrégulière près de la côte et une autre plus éloignée.*

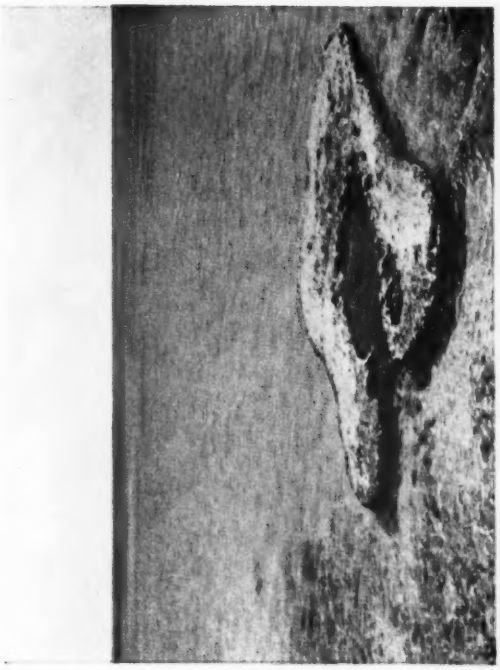


FIGURE 12 – *Chaudière à sommet aplati avec cavité centrale.*

FIGURE 11 – *Chaudière en entonnoir près de la côte.*

FIGURE 13 – *Paysage typique des Bermudes près de St Georges. Laurier-rose à droite au premier plan; branches de genévrier indigène des Bermudes à droite et à gauche.*

FIGURE 14 – *Partie d'une haie d'*Hibiscus *près de St Georges.*

Photographies de Anne Stephenson

provenant d'une source disparue depuis fort longtemps: probablement des champs d'algues fixées?

Un problème connexe est le fait que les sargasses ne sont spécifiquement identiques à aucune forme de *Sargassum* fixée de l'époque actuelle. Cette difficulté n'est pas insurmontable, car on a des preuves expérimentales que la forme d'algues brunes similaires (*Fucus*) peut être différente selon qu'elles effectuent leur croissance enchevêtrées et flottantes, ou fixées au fond de la mer. On sait d'ailleurs que les fucales subissent des modifications si elles se développent à l'état flottant. Cependant, autant que nous sachions, les *Sargassum* pélagiques n'ont pas été reproduites expérimentalement à partir d'une espèce fixée.

Parr [1] examine en détail les bancs connus de *Sargassum* dont les algues flottantes pourraient dériver et conclut que leur ensemble est trop petit pour fournir l'énorme quantité d'algues de la mer des Sargasses sauf si l'on suppose un entretien possible par un apport annuel très petit et donc une vie et une croissance extrêmement longues de ces algues.

A ce sujet, nous voudrions attirer l'attention sur un point concernant les Bermudes. Quand on voyage autour de ces îles on peut voir des *Sargassum* flottantes. N'y a-t-il, aux Bermudes, aucune source dont certaines pourraient dériver? Nous pensons que, bien que les botanistes connaissent depuis longtemps l'existence aux Bermudes d'espèces de *Sargassum* fixées, on ne sait peut-être pas à quel point elles foisonnent. A partir d'un peu au-dessus du niveau des basses mers deux espèces de ce genre sont extrêmement abondantes tout autour des Bermudes et dans le Harrington Sound. Beaucoup d'algues près du niveau des basses mers sont très courtes (une dizaine de cm de long) mais elles sont très nombreuses et sous l'eau on trouve communément des touffes florissantes d'algues ayant plus de 20 cm longueur (figure 8).

Il est vrai qu'elles sont tout à fait différentes des algues flottantes mais il en serait de même où que l'on puisse situer une origine actuelle des sargasses. On peut aussi penser que si l'on pouvait peser l'ensemble des *Sargassum* des Bermudes il se révélerait trop petit pour constituer une source suffisante d'algues flottantes. Mais quel qu'il soit, cet ensemble est important et comme les îles sont soumises à l'action de vagues très puissantes ainsi qu'à des ouragans périodiques, il y a sans doute beaucoup de *Sargassum* arrachées des rochers; il n'est pas possible qu'elles restent sans fournir une quantité appréciable d'algues flottantes, surtout si l'on considère que ce processus est continu et si l'on admet qu'elles sont capables de survivre et se transformer après avoir été arrachées.

Les Bermudes ne font pas exception à la règle générale de répartition des plantes et des animaux en zones superposées entre les niveaux de marées. On admet maintenant que les zones de ce type montrent sur tout le globe quelques traits communs ainsi que beaucoup de différences locales, mais on n'a pas encore fait de description détaillée de la zonation sur des îles océaniques isolées en rapport avec les caractères généraux que l'on commence à reconnaître. Nous pouvons maintenant fournir cette description et il est intéressant de noter que les Bermudes concordent très bien avec le plan général.

Sur les côtes ouvertes typiques on voit la série suivante (figure 5): juste au-dessus du niveau des basses mers de vive-eau il existe une bordure (frange infralittorale) d'algues abondantes qui couvrent les rochers vers le bas à partir du niveau de marée basse; on y voit de nombreuses algues courtes dont des *Sargassum*, la zone se terminant souvent par une bande étroite de *Padina*, l'algue brune en éventail. Au-dessus de ce niveau, le développement des algues est très faible, excepté dans les endroits où une forte action des vagues transporte plus haut quelques espèces de plus grande taille; la végétation a plutôt l'aspect d'un court duvet ou de mousses souvent intermittentes.

La partie moyenne du rivage — zone littorale moyenne — donne deux subdivisions. Dans l'inférieure, le rocher est plaqué de *Spiroglyphus*, accompagné d'un duvet brun épars de petites algues, *Gelidium pusillum* v. *conchicola* paraissant la plus importante. La patelle *Fissurella barbadensis* est un des animaux caractéristiques. Dans la sous-zone supérieure, il y a souvent de nombreuses balanes (*Chthamalus stellatus*) fréquemment accompagnées par places de plaques à allure de mousses dues à de petites algues dont *Polysiphonia howei*, particulièrement commune. Le rapport entre les balanes et la couverture d'algues varie dans cette bande suivant la quantité de soleil et l'action des vagues subies par chacun des rochers et dépend aussi en particulier de la pente de ce rocher.

Au-dessus de la zone littorale moyenne s'étend la frange supra-littorale près du niveau de haute mer; les rochers y montrent un des traits universels les plus communs de la zonation: une bande à surface noircie par des Myxophycées microscopiques (zone noire). A ce niveau, qui se

trouve très souvent à sec, les algues macroscopiques se limitent à des formes spécialement adaptées vivant dans des anfractuosités (particulièrement *Bostrychia tenella*), et les animaux les plus communs sont de rapides isopodes (*Ligia baudiniana*).

Il existe aux Bermudes un problème attrayant à résoudre, lié à l'existence des zones que l'on vient de décrire et présentant un intérêt à la fois biologique et géologique. La roche de la côte des Bermudes au-dessus du niveau de la mer est sculptée d'une manière très caractéristique. Elle est habituellement criblée de trous et présente des crêtes et des saillies aigües; dans la zone des marées elle devient progressivement plus lisse pour atteindre à la partie inférieure de cette zone des contours relativement doux recouverts par *Spiroglyphus* et la courte pilosité d'algues que nous avons déjà décrite. La différence d'aspect est sans doute due partiellement à l'incessante action des vagues et à un effet de cimentation de l'eau de mer sur la surface du rocher. Mais elle est due aussi en partie à l'usure à petite échelle que produisent sur le rocher les milliers d'animaux qui se nourrissent de sa couverture de petites algues. Parmi ceux-ci nous pouvons citer les chitons, certains escargots et certains crabes, les patelles et les poissons à bec dur tels le perroquet de mer. La surface du rocher porte d'innombrables marques qui révèlent leur activité.

Un des objets de notre expédition était de comparer les Bermudes avec les cayes de Floride. On a reconnu depuis longtemps que le peuplement marin des Bermudes est apparenté à celui des Antilles; et on a supposé que beaucoup d'espèces des Bermudes sont venues des Antilles, apportées par le Gulf Stream sous forme de larves ou d'individus fixés à des objets flottants, algues ou troncs d'arbres, ou par d'autres moyens. Nous n'avons rien à avancer contre cette conclusion que notre travail vient plutôt appuyer, mais nous nous sommes surtout attachés à voir si la zonation et la distribution générale des espèces ressemblent à celles des Cayes. Les îles de cette chaîne de 100 milles marins de long présentent des particularités exceptionnelles: la profondeur des mers qui les entourent est très faible, la sédimentation y est forte et l'action des vagues réduite. Dans ces conditions elles présentent un peuplement tropical limité par suite des déficiences du milieu.

Aux Bermudes, la côte exposée ne présente aucune de ces caractéristiques, mais il existe au milieu des îles des zones abritées de mer fermée constituant un milieu très comparable à celui des Cayes. Dans certains cas, nous avons retrouvé un peuplement et une zonation rappelant de très près ceux des Cayes et présentant des caractéristiques inconnues sur les côtes extérieures davantage battues par les vagues. Dans ce dernier cas, la zonation, bien que sensiblement différente de celle des Cayes, n'en constitue peut-être qu'une modification due à l'agitation de l'eau. Il était d'un intérêt additionnel de trouver que de nombreuses espèces écologiquement importantes, c'est-à-dire communes et caractéristiques d'habitats particuliers, sont les mêmes aux Bermudes et sur les Cayes.

Il y a naturellement aussi des différences et on peut les utiliser pour montrer le contraste entre le climat marin vraiment tropical des Cayes et le climat sub-tropical mais océanique des Bermudes. L'isolement de ces dernières a aussi produit son effet propre. La balane la plus commune du rivage des Cayes, par exemple, est *Chthamalus stellatus*, sous-espèce *angustitergum*. La balane, actuellement la plus commune aux Bermudes, bien qu'appartenant aussi à une sous-espèce de *Chthamalus stellatus*, diffère à la fois de la forme *angustitergum* et de *Chthamalus fragilis* (autre balane d'Amérique du Nord).

Finalement, on peut noter qu'une expédition comme celle-ci bien que réalisée dans des buts précis différents peut aussi donner des résultats accidentels intéressants en eux-mêmes. Notre batelier attira un jour notre attention sur quelques balanes d'un vert brillant et d'aspect singulier vivant en abondance sous une falaise surplombante d'un îlot isolé, loin du rivage. Nous avons immédiatement vu qu'elles n'étaient pas communes et en avons récolté des échantillons; mais nous n'avons pas pu les retrouver autre part durant nos trois mois de travail. De retour au laboratoire, nous vîmes qu'elles appartenaient à une espèce très particulière dont la coquille, au lieu de se composer de 4 à 8 plaques comme dans les balanes les plus communes de la côte, est constituée d'un grand nombre de plaques chevauchant les unes sur les autres. L'animal porte le nom de *Catophragmus imbricatus* et on ne le connaissait auparavant que par un petit nombre d'échantillons immatures ou incomplets, décrits par Darwin en 1854, et par Verrill en 1901.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PARR, A. E. *Bull. Bingham oceanogr. Coll.*, 6, 1939.

Nature de la haute atmosphère

par H. S. W. MASSEY

On trouve ici une description des différentes couches de l'atmosphère et un aperçu des méthodes utilisées pour les explorer. Suit une étude détaillée de leurs propriétés et de certains phénomènes atmosphériques, notamment la lumière du ciel diurne ou nocturne et les transformations physico-chimiques que subissent dans la haute atmosphère les radiations venues de l'extérieur. Ces travaux ont un intérêt pratique aussi bien que théorique à cause de leurs rapports avec la propagation des ondes radioélectriques et le vol des fusées.

L'atmosphère joue trois rôles essentiels à la vie: c'est une couverture; elle élimine la partie ultra-violette léthale du spectre solaire; et elle volatilise les météores. L'absorption de l'ultra-violet a lieu principalement dans une couche où se concentre l'ozone, entre 20 et 40 km d'altitude. Les météores se volatilisent à des hauteurs bien plus grandes, voisines de 100 km. Les propriétés thermiques de l'atmosphère font intervenir toute sa hauteur, car plusieurs phénomènes y jouent un rôle: absorption à haute altitude des radiations solaires à courte longueur d'onde, et leur dégradation en rayonnement calorifique à grande longueur d'onde, effets ultérieurs de ce rayonnement.

La haute atmosphère est encore le siège de plusieurs autres phénomènes importants, certains utiles, d'autres nuisibles pour la technique, tous d'un intérêt scientifique considérable. Décrivons-les sommairement, dans l'ordre où ils se présentent, lorsqu'on s'élève à partir du sol (figure 1). On traverse la troposphère et on atteint la stratosphère, à environ 12 km d'altitude. C'est à peu près à cette altitude que sont fortement absorbés les rayons cosmiques primaires, constitués surtout de protons et d'autres noyaux à grande énergie. Ils engendrent cette multitude déconcertante de particules secondaires, dont l'étude est une des branches principales de la physique théorique. Puis vient la couche d'ozone, déjà mentionnée. A 70 km apparaît un constituant inattendu: le sodium. Sa concentration est proportionnellement infime, mais il joue un rôle important dans les phénomènes de luminosité diurne et nocturne de l'air, sur lesquels on s'étendra plus loin. A environ 10–15 km au-dessus, on rencontre pour la première fois des régions où la concentration en ions et électrons est appréciable; c'est-à-dire qu'elle est suffisante pour influer sur la propagation des ondes de radio. Cette région ionisée, appelée région D peut être parfois une grande source d'ennuis, en causant le fading. Pendant les périodes d'activité solaire intense, révélée par les protubérances, on observe un accroissement considérable d'ionisation dans cette région. Cela n'aurait pas de conséquences sérieuses, si la réflexion des ondes de radio à ces niveaux ne s'accompagnait d'une absorption intense, cause du fading.

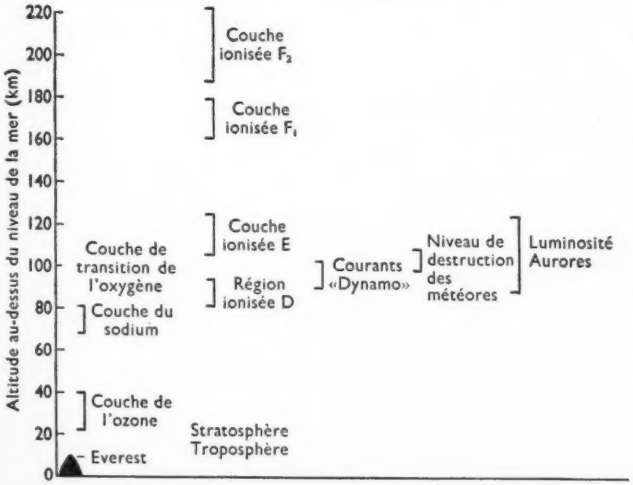


FIGURE 1 – *Représentation schématique de la haute atmosphère. Principales régions intéressantes. (Les couches F_1 et F_2 sont séparées. C'est ainsi pendant la journée, la nuit elles se confondent.)*

A 100 km, on atteint le seuil de plusieurs régions importantes. La pression n'est plus que le dix-millionième environ de la pression au sol. La température, qui a passé par deux maxima et un minimum, compris entre 180°K (à 80 km) et 270°K (à 50 km), est ici de 240°K environ. La composition de l'air est à peu près la même qu'au sol, par rapport aux constituants principaux.

Au-dessus, voici un changement notable de composition: l'oxygène passe

sous forme surtout atomique. Cela entraîne une variation considérable du pouvoir absorbant pour les radiations solaires, et rend possibles certains phénomènes d'émission lumineuse dont dépend la luminosité caractéristique du ciel nocturne.

Une autre couche ionisée importante en technique, se trouve entre 100 et 120 km. Elle est relativement mince (5–6 km). On l'appelle la couche E. Sa concentration électronique est beaucoup plus grande que celle de la région D, et son absorption bien moindre. Elle joue un rôle important dans la propagation à longue distance des ondes radiophoniques par suite de réflexion.

Il semble probable que les principaux courants atmosphériques responsables de ce que l'on appelle les variations magnétiques stables lunaires et solaires se trouvent dans la couche E ou juste au-dessous. Ces courants sont dus à l'effet de marées atmosphériques sur l'ionisation de la région E, et présentent la même périodicité.

Bon nombre des phénomènes lumineux les plus intéressants ont leur origine dans les altitudes voisines de 100 km. La luminosité du ciel nocturne s'observe toute l'année, et varie peu avec la latitude. Il y a principalement une raie verte et une raie rouge dues à l'oxygène atomique, et les bandes de la molécule d'azote et de l'hydroxyle.

L'aurore polaire est un phénomène optique bien plus spectaculaire. Elle est bien plus intense que la luminosité du ciel nocturne et se concentre sous les latitudes «aurorales». Les aurores boréales apparaissent avec la fréquence maximum, sous la latitude magnétique 67°, et il y a une valeur correspondante pour l'aurore australe dans l'hémisphère sud.

On retrouve dans la lumière aurorale les raies de l'oxygène vertes et rouges, mais la bande d'émission intense est due à la molécule d'azote ionisée, cette fois, et non plus neutre. Sous les latitudes de fréquence maximum, l'émission lumineuse principale provient d'altitudes voisines de 100 km. Aux latitudes plus basses, les aurores, bien plus rares, apparaissent souvent à des altitudes plus grandes, atteignant parfois 600 km. Des orages magnétiques accompagnent en général ces spectacles, et la propagation des ondes de radio subit de fortes perturbations.

On a déjà fait remarquer que la région des 100 km était le cimetière de la plupart des météores. Il y a tant de météores volatilisés à peu près au même niveau, qu'ils produisent une concentration ionique considérable. On appelle souvent ce niveau la couche E sporadique, par opposition à la couche E normale, légèrement plus basse.

Il reste encore assez d'atmosphère au-dessus de 100 km pour que son rôle soit important en bien des points. Au-dessus de 120 km, la concentration des ions et électrons de la couche E tombe d'abord rapidement, puis remonte, et atteint, de jour, un nouveau maximum plus intense vers 160–170 km. C'est la couche F_1.

Au-dessus de F_1, l'ionisation baisse un moment, puis remonte vite, et il y a la couche F_2, très épaisse, où la concentration électronique est dix fois le maximum de la couche E. Pendant la nuit, les couches F_1 et F_2 se confondent, et la zone d'ionisation s'élève. C'est la zone F, essentielle à la propagation à grande distance des ondes de radio. A 160 km, la pression n'est que $3 \cdot 10^{-9}$ fois la pression au niveau du sol, et la température atteint 750°K. Il est pratiquement certain que la température continue de monter, si bien que dans la couche F_2, elle dépasse probablement 750°K.

Nos connaissances résultent d'observations directes ou indirectes. Jusqu'à ces dernières années, les méthodes directes étaient impossibles. Les récents et remarquables perfectionnements des fusées ont permis d'envoyer des instruments jusqu'à 200 km pour faire des mesures directes des conditions locales dans la haute atmosphère.[1] Mais cette méthode directe suppose une technique raffinée. Le manque d'espace, la violence du mouvement rendent les observations extrêmement difficiles. Il peut y avoir des détériorations importantes au retour à la terre, et il vaut mieux que les observations *in situ* soient transmises par radio à une station réceptrice au sol par un système de télémesure. En plus, la durée totale du vol de la fusée ne dépasse guère quelques minutes, et elle ne demeure qu'un temps très court au voisinage d'une altitude déterminée.

Ces difficultés particulières nécessitent l'emploi de méthodes d'observation souvent fort différentes de celles du laboratoire. Il est intéressant, et encourageant, de voir que les observations directes par fusée ont largement confirmé les déductions des méthodes indirectes, au moins au-dessous de 100 km.

PRESSION, TEMPÉRATURE ET COMPOSITION

Etant donné la composition de l'atmosphère à une altitude déterminée, deux quelconques parmi les trois grandeurs physiques, pression (p) densité (ρ) et température (T) permettent le calcul de la troisième. Jusqu'à environ 100 km, il est probable

[1] Un compte-rendu détaillé de ces recherches va sortir prochainement sous le titre *Proceedings of the Oxford Conference on Rocket Exploration of the Upper Air.*

que la composition reste sensiblement la même qu'au sol, et ceci s'accorde avec les valeurs observées de p, ρ et T.

On a mesuré directement pression et densité jusqu'à 200 km. Pour la pression, on utilise des jauges (jauge à soufflet à basse altitude et jauge d'ionisation à haute altitude) insérées sur les côtés de la fusée, près de l'empennage. Des essais dans des souffleries à tunnel ont confirmé que ces jauges mesuraient bien la pression ambiante. On calcule la densité à partir de la pression à l'avant de la fusée, mesurée au moyen d'une jauge convenable. On trouvera sur la figure 2 la moyenne des résultats obtenus jusqu'à présent.

On a déterminé la variation de température par diverses méthodes. On peut la déduire de la vitesse du son v, supposée connue, par la relation

$$v^2 = \gamma RT/M \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

où R désigne la constante des gaz, M le poids moléculaire moyen de l'air et γ le rapport des chaleurs spécifiques des gaz. On a d'abord utilisé la propagation du son dite «anormale». On entend souvent des bruits intenses, comme celui du canon, à de grandes distances, séparés de la source sonore par une zone de silence. Ceci tient à ce que les ondes sonores dont la direction de propagation est très inclinée sur l'horizontale retournent à la terre en un point éloigné après réflexion totale dans une couche à haute température. Le phénomène est essentiellement le même que dans le cas de la propagation des ondes de radio à grande distance (voir figure 3). La distance entre la source et le point où retombent les rayons réfléchis, venant de diverses directions, permet de calculer la hauteur de la couche à haute température. On a introduit récemment une méthode plus précise utilisable avec des fusées. A des hauteurs convenables, des grenades sont expulsées des fusées en plein vol, et explosent. On photographie les explosions et on enregistre avec précision le moment d'arrivée de la pulsation sonore en cinq stations au sol. Ces observations permettent de localiser l'explosion, de connaître la vitesse du son à divers niveaux et la répartition des vents atmosphériques. Une autre méthode de mesure de la vitesse du son au moyen de fusées consiste à déterminer le rapport des pressions en deux points situés à deux distances différentes de l'avant de la fusée. On obtient ainsi le nombre de Mach du sillage de la fusée, et partant, la vitesse du son.

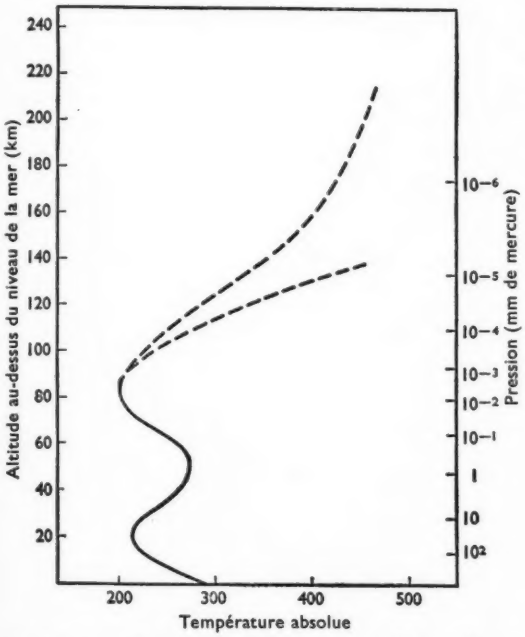


FIGURE 2 – *Pression et température dans l'atmosphère en fonction de la hauteur. La ligne en trait plein est directement déduite d'observations par fusée depuis White Sands, New Mexico. Au-dessus de 100 km, il devient difficile de déduire la température de la densité et de la pression, par suite de changements de composition. Les lignes en trait discontinu donnent deux possibilités, correspondant à deux hypothèses extrêmes.*

On a tiré des renseignements indirects sur la répartition des températures de l'étude des marées atmosphériques. Des observations radiophoniques (voir ci-dessous) ont montré que l'amplitude des oscillations dues à la lune est exagérée au niveau de la couche E. L'amplitude et la phase de ces oscillations à haute altitude varient beaucoup avec la répartition des températures. Weekes et Wilkes [1], après avoir considéré plusieurs possibilités théoriques, ont pu montrer que cette répartition, jusqu'à 100 km, doit avoir la forme générale illustrée par la figure 2.

Finalement, on a pu avoir des renseignements sur la température dans les couches E et F en déterminant, par l'intermédiaire d'ondes de radio la variation de densité électronique avec l'altitude. Si le rapport des pressions entre deux niveaux est égal à $1/e$, leur distance H est donnée par la relation $H = RT/Mg$, où R, T et M ont la même signification que ci-dessus, et g représente l'accélération de la pesanteur. Si l'on connaît la composition de l'atmosphère, la température T peut se calculer à partir de H. Au-dessus de 100 km, il faut tenir compte de la dissociation de l'oxygène, et peut-être de l'azote à plus haute altitude.

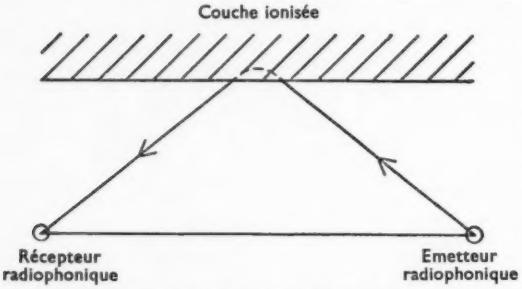


FIGURE 3 – *Figure destinée à illustrer la propagation à grande distance des ondes radiophoniques.*

La figure 2 schématise nos connaissances actuelles des variations de température à diverses altitudes. Au-dessus de 100 km, les résultats sont très incertains, par suite de l'incertitude sur le degré de dissociation de l'azote. On n'a encore aucune mesure directe pour ces grandes altitudes.

LES COUCHES IONISÉES

Les méthodes radiophoniques sont parmi les plus employées pour étudier les couches E et F. Voici un aperçu du mécanisme de propagation: Des ondes radiophoniques de longueur λ, pénétrant sous incidence normale dans une couche ionisée, subissent la réflexion au niveau où la concentration électronique n satisfait à la relation $n = \pi mc^2/e^2\lambda^2$, où e et m désignent respectivement la charge et la masse de l'électron, et c la vitesse de la lumière. On compare alors les ondes réfléchies avec les ondes au sol, issues d'un émetteur, sous diverses longueurs d'onde. On peut ainsi déterminer les variations de n avec l'altitude, dans une couche particulière, jusqu'à ce que la longueur d'onde utilisée corresponde au maximum possible de n dans la couche. Si on augmente encore la longueur d'onde, la couche est complètement traversée. L'emploi de fusées permet dorénavant de poursuivre l'étude au-delà de ce maximum. On mesure la vitesse locale d'une onde radiophonique en observant l'effet Doppler-Fizeau, dû à la vitesse de la fusée, sur un signal radiophonique émis par la fusée. La variation relative de longueur d'onde est v/V, v désignant la composante de la vitesse de la fusée dans la direction d'observation, et V la vitesse de l'onde radiophonique émise par la fusée dans l'atmosphère environnante. V est donné par

$$\left(1 - \frac{ne^2\lambda^2}{\pi mc^2}\right)^{-\frac{1}{2}} c,$$

c désignant la vitesse de la lumière. Il y a effectivement réflexion totale lorsque $V \to \infty$.[1]

On a déjà dit que les sondages radiophoniques ont renseigné sur la répartition des températures et les marées à grande altitude. L'observation de ces dernières nécessite une étude très soignée des fluctuations des signaux revenus des couches ionisées. Ces couches sont loin d'être uniformes. Elles ont une structure granulée, et on peut déduire le mouvement des granules, assez volumineux, des irrégularités des signaux.

Les couches ionisées sont produites par les rayonnements électromagnétiques du Soleil. Une radiation ionisante déterminée produit des électrons en quantité croissante par unité de volume en pénétrant dans des régions atmosphériques de plus en plus denses, jusqu'à ce que l'absorption devienne importante; puis le taux de production décroît jusqu'à zéro, quand l'absorption est complète. Les radiations particulières responsables de la production des principales couches ionisées ne sont pas encore reconnues avec certitude. Il est toutefois intéressant de remarquer qu'il y a assez de rayons X mous dans le spectre solaire, au niveau de la couche E, pour en assurer l'ionisation. Des compteurs à rayons X expédiés par fusée, le prouvent définitivement. Un peu auparavant, Hoyle et Bates [2] avaient suggéré que c'étaient peut-être les rayons X émis par la couronne solaire qui étaient les responsables. L'ionisation de la couche F vient peut-être de l'ionisation de l'oxygène atomique par l'ultra-violet, mais c'est loin d'être certain. Il n'y a cependant aucun doute que les couches principales sont l'effet de radiations venus du Soleil avec la vitesse de la lumière, comme le montre l'intervalle de temps

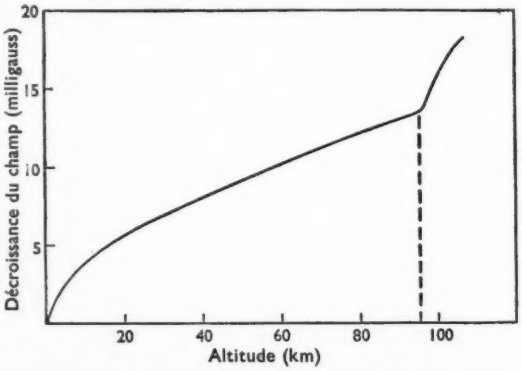


FIGURE 4 – *Décroissance du champ magnétique en fonction de la hauteur, observée au-dessus de la côte péruvienne, avec un magnétomètre dans une fusée. La chute brusque à 93 km indique l'existence d'une couche de courant à cette altitude.*

[1] Cette formule néglige l'effet du champ magnétique terrestre, qui est considérable.

qui s'écoule entre l'obscurcissement du disque solaire et le début des changements ionosphériques pendant une éclipse.

Les marées de la haute atmosphère se traduisent par des forces dynamiques exercées sur les électrons et les ions des couches ionisées, avec production d'un courant, dont la nature est compliquée par le champ magnétique terrestre. Selon la théorie «dynamo» — déjà proposée en 1883 par Balfour Stewart [3] — le courant est perpendiculaire à la fois au champ magnétique et au mouvement de marée. Le champ magnétique au sol est dû en partie au champ de ce système de courants, et varie donc périodiquement avec les marées. Il y a des composantes de ces variations magnétiques qui ont les périodes des marées lunaires et solaires. Des travaux récents apportent de fortes preuves à l'appui de cette théorie. Il y a eu notamment une remarquable expérience par fusée à partir de la côte du Pérou [4]. La fusée emportait un magnétomètre à champ total, permettant la mesure des variations du champ magnétique avec l'altitude. En traversant une couche de courants, on devrait observer une baisse soudaine du champ. Ce fut le cas, à 93 km (voir figure 4), altitude voisine de celle que l'on prévoit pour la base de la couche de courant «dynamo».

AURORES POLAIRES ET LUMINOSITÉ DU CIEL

Il y a une corrélation évidente entre le début d'une aurore polaire, et l'établissement d'un état de perturbation du Soleil. Mais cela ne se passe pas comme pour l'ionosphère, car il y a un retard de un ou deux jours entre le début d'une perturbation solaire et celui de l'aurore. Il faut donc chercher la cause ailleurs que dans un rayonnement électromagnétique. L'autre alternative est un flot de corpuscules. Il ne peut consister en particules chargées d'un signe déterminé, car leur répulsion mutuelle les aurait dispersées bien avant d'arriver à la terre. On suppose que le flot est neutre, et se compose de protons et d'électrons à concentration égale. Les observations de Gartlein [5] et de Meinel [6] constituent une preuve très forte de la présence de protons dans le flot incident. Ils ont observé des raies de l'hydrogène étalées dans le spectre des aurores polaires. Cet étalement est dû à un effet Doppler-Fizeau. C'est ce qu'on attendrait si les raies étaient dues à des protons incidents rapides, qui capteraient des électrons des atomes atmosphériques, certains de ces électrons se retrouvant dans des états excités. C'est aux transitions à partir de ces états que seraient dues les raies observées.

Il reste encore un grand nombre de problèmes à résoudre à propos des aurores polaires. Il doit y avoir une cause capable d'accélérer les protons du rayon corpusculaire au voisinage de la Terre; s'ils devaient continuer leur chemin avec la vitesse calculée à partir du retard d'établissement des aurores polaires, ils n'auraient pas assez d'énergie pour arriver au niveau où l'on observe celles-ci. Pourquoi, également, sont-elles concentrées sous une ceinture étroite de latitudes dans chaque hémisphère?

Le flot corpusculaire responsable de l'aurore polaire augmente également l'ionisation de la haute atmosphère. Ceci amène des perturbations des émissions de radio et des orages magnétiques, dus aux courants anormaux qui circulent dans les régions aurorales.

La luminosité du ciel nocturne est une émission de lumière plus ou moins stable du ciel pendant la nuit, en dehors, naturellement, de la lumière intégrée des étoiles, et de tout clair de lune. Elle est bien moins intense que l'aurore polaire, et fait intervenir bien moins d'énergie. Elle est presque certainement due au transfert d'une partie de l'énergie solaire emmagasinée pendant la journée, dans l'infra-rouge lointain, le spectre visible, et le proche ultra-violet. Ainsi, pendant la journée, la lumière solaire dissocie l'oxygène en atomes. Une recombinaison partielle de ces atomes pendant la nuit fera intervenir des phénomènes d'émission lumineuse. Cependant, on ne peut encore en faire un tableau plus précis. Il est intéressant de remarquer l'intensité de la raie jaune D du sodium dans le spectre du ciel nocturne, bien que la proportion de ce dernier ne soit, au grand maximum, que 10^{-8} fois celle des constituants atmosphériques principaux. L'intensité de l'émission est si grande que Bates a suggéré qu'on pourrait l'augmenter de façon observable en emportant et en dispersant une boîte de sodium à l'altitude requise, par fusée.

BIBLIOGRAPHIE

[1] WEEKES, K. et WILKES, M. V. *Proc. roy. Soc.* A, **192**, 80, 1947.
[2] HOYLE, F. et BATES, D. R. *Terr. Magn. Atmos. Elect.*, **53**, 51, 1948.
[3] STEWART, B., «Encyclopaedia Britannica», 9ème éd., vol. 16, p. 181.
[4] SINGER, S. F., MAPLE, E., et BOWEN, W. A. *J. geophys. Res.*, **56**, 265, 1951.
[5] GARTLEIN, C. W. *Phys. Rev.*, **81**, 463, 1951.
[6] MEINEL, A. B. *Ibid.*, **80**, 1096, 1950.

Orfèvrerie antique

par CHARLES SINGER

L'or, métal attrayant, facilement obtenu et travaillé, et pratiquement inaltérable, a très tôt servi à la fabrication d'ornements et d'objets de dévotion. L'auteur décrit quelques chefs-d'œuvre authentiques qui fournissent la preuve que l'orfèvrerie, métier de luxe le plus ancien, dont les techniques ont peu varié au cours des siècles, a atteint dès une époque très reculée une perfection difficilement égalable.

Il est probable que bien avant la révolution néolithique, des grains brillants d'or alluvial avaient attiré les regards des nomades, mais on ne peut faire remonter aucun objet en or au-delà du 4e millénaire avant J.-C. La barbarie néolithique elle-même cède alors le pas à la révolution urbaine en divers endroits du Proche Orient; l'exemple le plus ancien des cités fortifiées est celui de Jéricho, datant d'environ 6000 ans av. J.-C. De ces communautés surgirent des cités-états véritablement civilisées entre le Tigre et l'Euphrate et dans la vallée du Nil. Dès l'an 3000 des empires s'étaient fondés dans ces deux régions par le fusionnement des cités, et vers l'an 2500 une évolution parallèle se produisait sur les bords de la mer Egée. Dans ces trois régions le travail de l'or se perfectionna rapidement. Au début on obtenait l'or en lavant le sable ou la boue, tout comme l'or alluvial de nos jours, mais le travail minier proprement dit a commencé très tôt.

L'or n'a jamais servi à des fins utilitaires. Il était réservé au rite et à la décoration. Ainsi, alors que la métallurgie du cuivre avait beaucoup plus d'importance pratique que celle de l'or, c'est pourtant l'or qui attirait les meilleurs artisans. Il n'y a là rien d'étrange d'ailleurs, puisque l'or seul se rencontre toujours à l'état natif, et il y en avait des dépôts dans l'orbite commerciale de l'Egypte et de la Mésopotamie (figure 1). On a retrouvé une carte des centres aurifères de l'ancienne Egypte (figure 2) mais peu d'entre eux donnent des résultats archéologiques intéressants parce que chaque mineur détruit forcément le travail de son prédécesseur. On sait cependant que la technique minière était fort avancée dès le 3e millénaire avant J.-C., et mille ans plus tard on pratiquait déjà la ventilation des mines. On est parvenu à reconstituer assez fidèlement une mine de cuivre d'Europe centrale de l'an 1500 avant notre ère (figure 3). Longtemps avant cette date les grands empires de l'Orient avaient organisé l'importation des métaux et des combustibles pour les travailler.

L'Egypte tirait beaucoup d'or du désert de Nubie, où l'on retrouve des traces de fouilles anciennes contenant encore les restes de battées et de meules. On pense que la Nubie produisait environ 300 kg d'or par an; son nom même signifie «pays de l'or» en égyptien. L'or se présentait en petites masses irrégulières dans des filons de

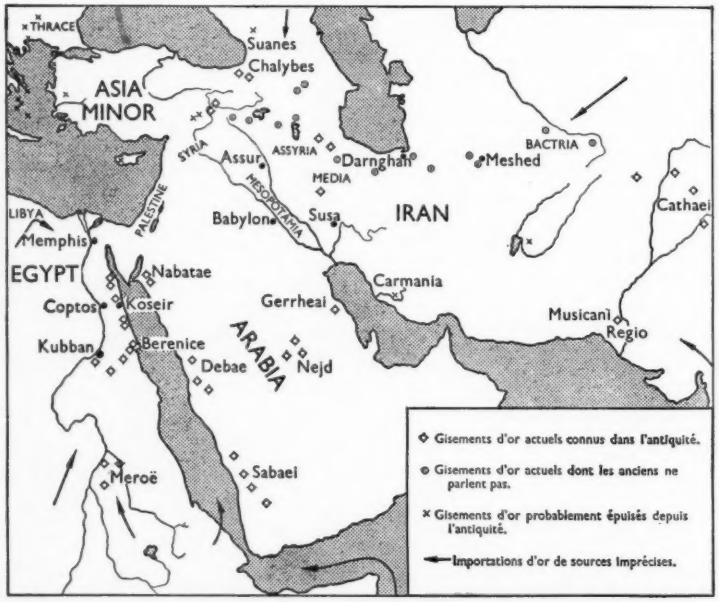


FIGURE 1 – *Emplacements des mines d'or du Proche Orient. N'y sont inclus que ceux qui ont été confirmés par la géologie moderne et l'archéologie.* (Metallurgy in Antiquity, *par J. Forbes. Leiden.* 1950; *quelques modifications de détail.*)

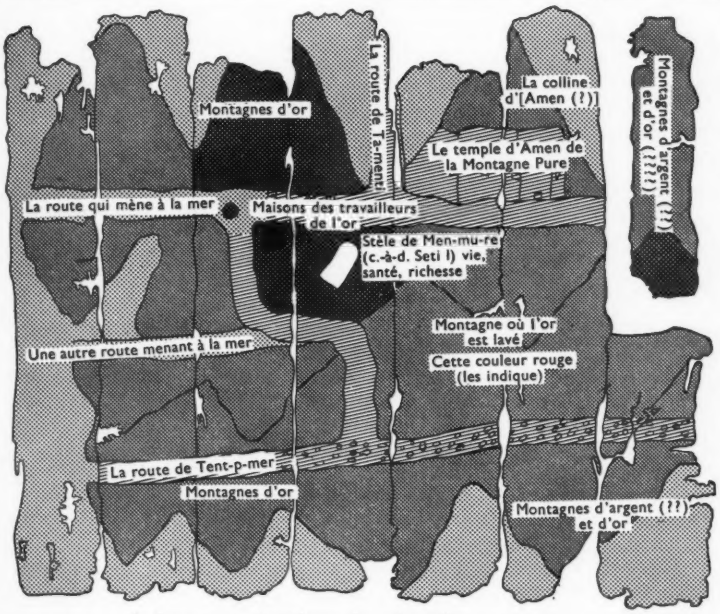


FIGURE 2 – *Ancienne carte égyptienne des mines d'or sur papyrus, avec traduction des inscriptions originales, datant de* 1300 *av. J.-C. environ.* (Egypt according to the Classic Geographers, *par J. Ball. Le Caire.* 1942.)

L'analyse d'objets primitifs en or révèle la présence d'argent, de cuivre, d'antimoine ou de fer; la couleur de l'or est due à ces impuretés. Les orfèvres d'Egypte et de Mésopotamie connaissaient la variété des teintes de l'or et ils étaient même capables de modifier à leur gré la couleur et la texture de la surface. Ils acquirent leur art de façon empirique, sans énoncer la moindre théorie sur la nature des métaux. Afin d'illustrer leur habileté technique nous nous bornerons à décrire quelques objets dont l'or est le principal sinon le seul constituant.

L'Egypte de l'an 2400 av. J.-C. nous a laissé une magnifique tête d'épervier (figure 6) battue entièrement dans une seule lame d'or et finie par la ciselure au repoussé. On a dû se servir d'outils quartz. Les fragments de roche étaient brisés au marteau, pilés dans des mortiers et réduits en poudre par des meules. Cette poudre était lavée sur des tables de bois par un faible courant d'eau qui entraînait les particules plus légères. La poudre d'or était recueillie sur des éponges et fondue en blocs. L'or natif se liquéfie à une température facile à atteindre même avec un feu de charbon de bois activé au moyen des soufflets ou des chalumeaux primitifs des Egyptiens (figures 4 et 5). L'or pur fond à 1063° mais l'or natif est toujours allié à un autre métal et ces alliages fondent généralement plus bas que l'or pur. Ainsi la présence de 18% de cuivre abaisse le point de fusion à 878° et il y a bien des alliages qui fondent plus bas encore.

Il serait impossible de retracer ici l'histoire de la métallurgie sauf à noter que le tournant décisif fut atteint quelque 4000 ans avant notre ère, lorsque l'homme perçut le rapport entre les minerais et les métaux. Mille ans après on pratiquait la métallurgie élémentaire de l'or, de l'argent, du cuivre, du plomb, de l'étain, et de quelques autres métaux et de leurs alliages, notamment de l'électrum (or-argent) et du bronze (cuivre-étain). L'âge du fer proprement dit ne commença que lorsqu'on eut découvert l'art de la trempe, mille ans environ avant J.-C.; jusqu'alors le fer était moins utile que le bronze.

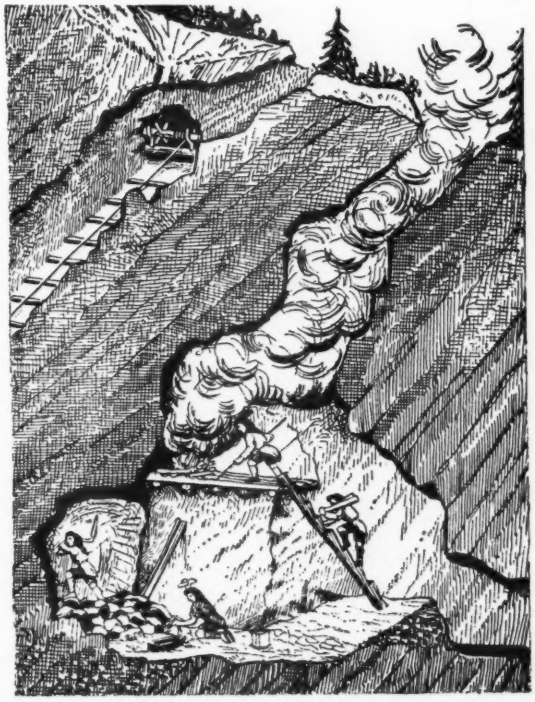


FIGURE 3 – *Reconstruction d'une mine de cuivre d'Europe centrale datant de* 1500 *av. J.-C. environ.* (*J. Andrée:* Bergbau in der Vorzeit. *Leipzig.* 1922.)

FIGURE 4 – *Orfèvres égyptiens. Le feu est activé au moyen de chalumeaux munis d'ajutages en argile. L'homme qui vide un creuset se protège probablement les mains avec de petites pierres. Ceux de droite battent l'or avec des marteaux de pierre. Description trouvée dans un tombeau de Saqqara datant environ de 2400 ans avant J.-C. (D'après G. Steindorff:* Das Grab des Ti. *Leipzig.* 1913.)

FIGURE 5 – *Soufflet égyptien primitif actionné par les pieds.* (The Life of Rekhmaru, *par P. E. Newberry. Londres.* 1900.)

de pierre pour le gros de l'ouvrage mais d'outils en cuivre pour la ciselure, le bronze étant encore très rare. Dans le repoussage on imprime du relief au métal en le façonnant au marteau de l'autre côté. Il n'est pas trop difficile d'imprimer un motif en faible relief en martelant le revers du métal, le côté décoré reposant sur une couche molle de bitume ou de bois; mais c'est tout un art que de repousser et de ciseler un relief accentué ou des figures et cela exige des connaissances approfondies. Pour éviter le risque continuel de la fissuration on doit souvent recuire le métal et il faut aussi beaucoup d'habileté et d'expérience pour assurer la répartition égale de l'amincissement produit par le martelage sur toute la surface ouvrée. Les yeux de l'épervier sont constitués par une seule tige d'obsidiane, une substance dure et vitreuse provenant probablement d'Abyssinie. La tige traverse la tête et ses extrémités ont été polies en forme de calottes sphériques. Nous savons trop peu des méthodes en usage à l'époque pour le meulage et le polissage d'une substance aussi dure.

Une pièce égyptienne d'un type beaucoup plus compliqué est reproduite dans la planche coloriée (figure 7) ci-contre, qui elle-même est digne d'intérêt. La représentation du profil des objets en or présente de grandes difficultés pour le photograveur et l'imprimeur; pour voir s'ils les ont surmontées il faut observer la planche avec la lumière artificielle tombant en oblique.

Le trésor d'une richesse exceptionnelle dont cette pièce est le joyau fut découvert en 1926 dans la vallée des Tombeaux des Rois de Thèbes. Elle

FIGURE 6 – *Tête d'épervier, battue dans une seule lame d'or et finie à la ciselure au repoussé. (Egypte, environ 2400 ans av. J.-C.) (D'après E. Vernier: «Bijoux et Orfèvreries». Le Caire.* 1927.) (× $\frac{2}{3}$)

FIGURE 7 (*ci-contre*) – *Portion du couvercle du troisième cercueil de Toutankhamon, dernier roi de la* XVIIIe *dynastie. Environ* 1350 *ans av. J.-C. Ce tombeau est le seul où l'on ait découvert tout l'ameublement funéraire d'un Pharaon. Cet objet et bien d'autres provenant du même tombeau se trouvent à présent au Musée du Caire. (D'après une peinture de Nina de Garis Davies.)*

r
o
-

cercueil
n 1350
ert tout
d'autres
u Caire.

FIGURE 8 – *Vue complète du couvercle du cercueil central de Toutankhamon.* (*Photo*, Ashmolean Museum.) ($\times \frac{1}{9}$)

était destinée à recevoir la momie de Toutankhamon, dernier roi de la grande XVIIIe Dynastie, mort en 1357 av. J.-C. alors qu'il n'avait pas vingt ans. La momie reposait au centre de trois sarcophages concentriques en forme d'effigie. Celui du centre est en or battu. L'artiste a employé une seule grande lame de 2,5 à 3 mm d'épaisseur à laquelle il a donné un relief accentué par martelage direct et par repoussage. La décoration est cloisonnée; on entend par là qu'un motif en fil d'or est soudé à la feuille, et les interstices entre les cloisons sont sertis de matériaux colorés. Le front de l'effigie porte les insignes royaux du vautour et du cobra. Le bec du vautour est en ivoire et ses yeux en obsidiane; le cobra est parsemé de verre colorié imitant la turquoise, d'ultramarine et de cornaline. Comme le Pharaon s'identifie après sa mort avec le dieu Osiris, il tient en main les emblèmes divins de la crosse et du fléau. Son visage, son cou et ses mains sont polis et ses pieds sont drapés (figure 8). Sa grande collerette est ornée de bandes de cloisonné serties de magnifiques pierres colorées. Deux déesses tutélaires incarnées par des vautours entourent de leurs ailes déployées les bras et le bas du corps. Ces figures sont également richement garnies de vernis opaques polychromes, d'ultramarine, de cornaline, de feldspath vert et d'autres pierres. Le restant du corps est recouvert d'un motif en plumes et de textes gravés.

L'objet suivant (figure 9), qui date des environs de l'an 3000 av. J.-C., fut découvert à Ur dans un tombeau de la première dynastie. S'il n'a pas la beauté des précédents, il illustre mieux encore l'habileté des anciens orfèvres à combiner des matériaux très différents. L'objet a son pareil et à l'origine ils devaient ensemble en soutenir un troisième, le dessus d'une petite table peut-être. L'objet en question représente une chèvre. Le corps, les pattes et la tête sont en or, le ventre en électrum et le tout est travaillé au repoussé et monté sur une charpente interne en bois collée au bitume. Les cornes, la barbe, et les poils foncés autour des épaules sont en ultramarine, les poils plus clairs du bas du corps sont en écaille et les yeux sont en ultramarine et en écaille. L'arbre auquel la chèvre est attachée est en or ainsi que la branche qui s'élève de l'épaule droite. La base rectangulaire qui supporte l'animal est couverte d'incrustations de grès rose et jaune et d'écaille blanche. Le caractère de l'œuvre est si frappant qu'on l'intitule parfois «le bélier pris dans un fourré» («Genèse», XXII, 13, etc). Bien entendu, elle existait plusieurs siècles avant ce texte et d'ailleurs le bélier n'était

FIGURE 9 – «*Le bélier pris dans un fourré*». *D'un tombeau royal de la* 1ère *dynastie à Ur.* 2500 *av. J.-C.* (*D'après Sir Leonard Woolley:* Ur Excavations. *Londres.* 1934. *Dû à l'amabilité du* British Museum.) (× ¼)

pas pris dans un fourré mais attaché à l'arbre par une chaîne en argent qui s'effrita lorsqu'on déterra l'objet.

La civilisation égéenne qui vit le jour vers l'an 2500 av. J.-C. se modela en partie sur celles de l'Egypte et de la Mésopotamie et fut probablement à la base de la culture de la Grèce classique. A partir de la Crète, son foyer principal, elle se répandit fort loin, atteignant même la Grande-Bretagne vers 1400, ainsi qu'on l'a démontré à Stonehenge il y a quelques mois. Elle se caractérisait par les cultes du taureau et du serpent (figures 10 et 14) et, en art, par une vivacité remarquable d'expression du mouvement.

La célèbre paire de gobelets de Vaphio de l'an 1600 av. J.-C. (figure 10) provient d'un tombeau

FIGURE 10 – *Un des gobelets de Vaphio* (*environ* 1600 *av. J.-C.*). (*D'après Sir Arthur Evans:* The Palace of Minos, *Londres*, 1930.)

des environs de Sparte; ils sont en or battu avec des poignées rivées et dépeignent de la façon la plus animée la capture de taureaux sauvages au lacet et au filet (figure 11). La fuite des taureaux est arrêtée par un chapelet de cordes tendu entre des oliviers dans un ravin boisé. Le taureau de gauche s'est retourné et a renversé un des poursuivants. La compagne de ce dernier a paralysé l'animal en croisant les bras et les jambes autour de son cou. Le taureau de droite a évité la barrière et continue son galop, tandis que celui du milieu est pris au filet. Sur l'autre gobelet on voit un taureau sauvage attiré par une vache domestique. A droite il renifle sa trace, au centre elle provoque son intérêt et pendant qu'il s'attarde avec elle le bouvier l'attrape au lasso par une patte arrière et l'animal beugle d'impuissance «comme le taureau quand les jeunes hommes le tirent vers l'autel» («Iliade», xx, 404–5).

Un deuxième objet égéen (figure 14) de la même époque annonce une forme d'art appelée à un grand avenir. C'est une statuette exquise en ivoire représentant l'extase d'une prêtresse du culte du serpent. Sur sa robe plissée et ornée d'une série de bandes en or elle porte une ceinture du même métal. Ses bracelets aussi sont en or ainsi que les serpents que ses mains étreignent et qui s'enroulent autour de ses avant-bras. Elle avait une chevelure en fils de métal tressés car on voit encore les trous où ils étaient plantés. Mille ans plus tard les Grecs admiraient encore avec ferveur ces ouvrages en or et en ivoire. Les pièces les plus célèbres de l'âge d'or hellénique (ve siècle avant J.-C.) étaient des statues massives d'environ 12 mètres de haut, l'œuvre de Phidias, le plus grand des artistes grecs: celle de la déesse Athéné au

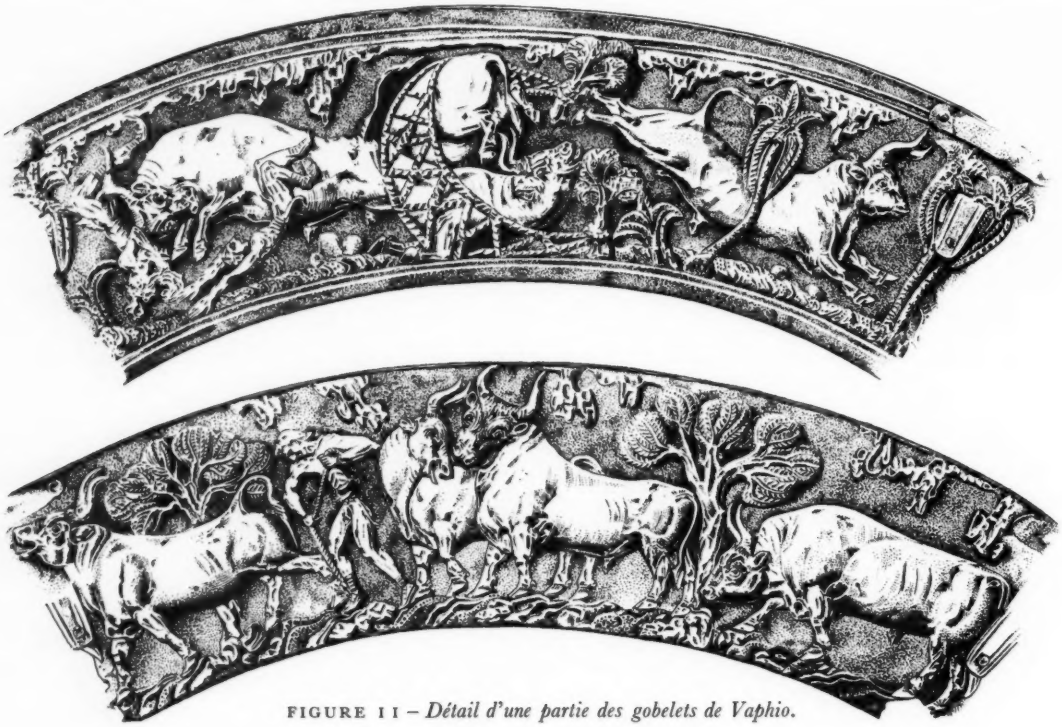


FIGURE 11 – *Détail d'une partie des gobelets de Vaphio.*

Parthénon et celle de Zeus au grand temple d'Olympie. Elles se composaient d'innombrables pièces d'ivoire taillé montées sur une grande charpente en bois et elles étaient garnies de draperies et d'ornements en or. La réputation de ces deux chefs-d'œuvre a résonné aux quatre coins du monde classique, mais il n'en reste plus rien. C'est à peine si l'on retrouve encore la trace de ces ouvrages chryséléphantins (en or et en ivoire) de la Grèce classique. La menue prêtresse aux serpents nous donne tout de même une idée du sentiment de ferveur dont les images des dieux grecs emplissaient les temples.

L'art de la décoration au moyen de petits grains d'or soudés sur un fond, «la granulation fine», était pratiqué en Egypte vers l'an 2050; on n'en connaît pas d'origine plus ancienne. Les Etrusques l'apprirent en Asie-Mineure et l'introduisirent en Italie lorqu'ils la colonisèrent au IXe siècle av. J.-C. pour passer en définitive sous la domination romaine. Leur art n'est pas tenu en très haute estime. Ils étaient cependant d'habiles artisans surtout en bijouterie, et personne ne les a surpassés dans l'art de la granulation. Les grains des articles les plus fins n'ont parfois que 0,13 mm de diamètre. L'exemple le plus parfait du genre est sans doute un vase en or de 10 cm de diamètre (figure 12) orné d'une double rangée de grains — 137 000 en tout — de 0,3 mm de diamètre. L'arrangement des grains et la soudure de particules si minuscules révèlent une habileté sans pareille.

L'art de la granulation se perdit avec la chute de Rome. Au XIXe siècle on tenta vainement de le retrouver, mais les orfèvres modernes n'arrivaient pas à répéter la délicatesse et l'aisance de leurs prédécesseurs. La soudure, fût-elle même découpée ou limée le plus finement possible, finissait généralement par submerger les grains ou les fils et le fondant employé tendait à bouillir et à les déplacer. On parvint finalement à surmonter ces deux obstacles. La division mécanique de la soudure fut remplacée par un procédé chimique donnant des particules plus fines, et d'autre part, le fondant fut tout simplement laissé de côté. Le procédé est le suivant. On fixe d'abord les grains ou les fils avec de la colle de poisson additionnée d'un composé de cuivre, l'hydrate par exemple. Ensuite on chauffe l'objet. La chaleur carbonise la colle et transforme l'hydrate de cuivre en oxyde; le carbone s'élimine en réduisant l'oxyde en fines

FIGURE 12 – *Vase étrusque à décoration granulée. Environ* 600 *av. J.-C.* (*Musée Victoria and Albert, Londres. Copyright de la Couronne.*) (*Grandeur originale.*)

FIGURE 13 – *Agrandissement des détails du vase de la figure* 13 *exécuté par technique moderne.*

particules de cuivre métallique. Cette mince pellicule de cuivre forme un alliage avec l'or des grains et constitue la soudure qui les réunit. Cette découverte a permis aux artisans modernes de copier les modèles grecs et étrusques les plus parfaits et de produire des bijoux originaux de toute beauté. L'échantillon (figure 13) exécuté par cette méthode a des grains dont le diamètre varie de 0,12 à 0,5 mm. L'œuvre est ferme mais elle est si délicate qu'on peut voir le jour entre les grains.

Bien que nous n'ayons pas tenté de retracer l'évolution de l'orfèvrerie, notons cependant que la plupart des procédés techniques employés au cours des âges furent inventés plus de 2500 ans avant notre ère et qu'ils étaient pratiqués couramment en Egypte et en Mésopotamie à cette époque.

REMERCIEMENT

La substance de cet article est fondée sur la documentation tirée des chapitres appropriés du livre *A History of Technology* (The Clarendon Press, Oxford) dont le premier volume doit bientôt paraître. Toutes les illustrations, sauf la figure 1, ont été reproduites du même ouvrage, grâce à l'amabilité des Délégués de la Presse.

FIGURE 14 – *Statuette crétoise en or et ivoire de* 16 *cm de haut. Environ* 1500 *av. J.-C.* (*D'après Sir Arthur Evans:* The Palace of Minos. *Londres.* 1930.)

La Société de l'Alambic

par JAMES KENDALL

L'auteur, lui-même membre puis secrétaire de l'*Alembic Club*, retrace brièvement l'histoire de cette association dont la renommée est fondée sur ses réimpressions des premiers classiques de la Chimie, notamment d'une version anglaise d'un ouvrage du médecin-chimiste John Mayow où celui-ci se révèle le précurseur de Lavoisier et de Priestley. En vertu de dispositions nouvelles, la Société bénéficiera désormais du patronage de la *Royal Society* d'Edimbourg et continuera la publication de ses réimpressions.

En 1889, le personnel de la section de Chimie de l'Université d'Edimbourg se composait du Professeur Crum Brown et de cinq auxiliaires mal rétribués. Ceux-ci se réunirent le 29 octobre de cette année dans la salle exiguë et obscure qui servait de bibliothèque de Chimie et là ils fondèrent l'*Alembic Club* dont les buts, précisés à la première page du premier registre des procès-verbaux, étaient:

1. de faire mieux connaître l'Université d'Edimbourg comme centre de recherches chimiques;
2. d'encourager l'étude de l'histoire et de la littérature de la Chimie;
3. de s'employer individuellement et collectivement à l'avancement professionnel de ses membres.

Il y a certainement eu d'autres associations de ce genre en d'autres lieux et à diverses époques: après la dispersion de leurs membres fondateurs ils ont sombré dans l'oubli. Mais il y a plus d'un demi-siècle que la Société de l'Alambic existe, et la nouvelle organisation lui assurera sans doute une durée permanente. Dans le présent article il s'agira surtout du second objectif du *Club*, qui permit, comme l'a dit un de ses membres, à ce groupement modeste de contribuer au progrès de la Chimie en mettant à la portée des intéressés des documents historiques s'y rapportant.

Les cinq fondateurs de la Société — par ordre d'âge, John Gibson, Leonard Dobbin, Hugh Marshall, James Walker et Alexander Smith — tinrent leur première réunion ordinaire le 19 novembre 1889 et nommèrent comme Secrétaire Leonard Dobbin, qui resta en fonctions 57 ans. On adopta, pour régler les activités du groupement, des Statuts en 13 articles, dont l'un fixait à 13 le nombre maximum de membres, ordinaires et correspondants. L'article 10 témoigne du même mépris de la superstition: il édicte que la cotisation annuelle de 6 shillings et 8 pence est payable le 15 décembre, qui est la date soigneusement calculée du 13e jour du 13e mois d'une année de 13 mois de 28 jours. Le *Club* a donc adopté par anticipation une réforme du calendrier proposée tout récemment, laissant toutefois à d'autres le soin de trancher une question qui dépassait la compétence de ses membres, celle du jour en surnombre — des deux jours dans le cas des années bissextiles.

Les premières réunions mensuelles furent principalement consacrées aux rapports que chaque membre présentait sur ses recherches personnelles et sur les articles d'intérêt particulier qu'il avait trouvés dans le groupe de revues chimiques contemporaines qu'il était chargé de dépouiller. Le compte rendu détaillé des débats sur chaque rapport figure aux procès-verbaux. Cependant, le 21 janvier 1890 Leonard Dobbin met sur le tapis la question de la publication d'une série d'opuscules peu coûteux contenant des réimpressions d'ouvrages chimiques célèbres. Les frais d'une telle entreprise font l'objet d'une longue discussion, et, bien qu'aucune motion ne soit formellement présentée, l'avis général est qu'il vaudrait la peine d'étudier la question plus avant. En somme on procède avec une circonspection typiquement écossaise et trois ans se passent sans aucune initiative.

Il se produit entre-temps certains changements. Ainsi un procès-verbal en date du 28 octobre 1890 indique: que les membres se réjouissent de la nomination de Dr. Alexander Smith à la chaire de Chimie de *Wabash College*, Indiana, et expriment l'espoir que ce n'est que la première étape de l'avenir brillant auquel l'ont préparé ses activités au sein de l'*Alembic Club*. La carrière de Smith aux Etats-Unis justifie pleinement cet optimisme: en 1894, il accède à la chaire de Chimie de l'Université de Chicago et en 1911 devient chef de la section de Chimie de la *Columbia University* de New-York. Ses travaux sur les états

allotropiques du soufre et sa série de manuels de Chimie minérale et de physico-chimie lui ont valu une renommée internationale. Il fut élu en 1911 Président de la *Chemical Society* américaine et jusqu'à sa mort en 1922 s'intéressa activement à l'*Alembic Club*.

Le 17 février 1891 Ralph Stockman est élu membre ordinaire et les rapports et les discussions mensuels sur les travaux du jour en Chimie continuent. Le 18 octobre de 1892 deux résolutions sont adoptées:

1. «La Société félicite Dr. J. Gibson sur sa promotion à la chaire de Chimie de *Heriot-Watt College*» (à Edimbourg).

Gibson qui succéda à William Henry Perkin resta en fonctions jusqu'à sa mort en 1914. La règle Crum Brown-Gibson pour la détermination de la position des radicaux dans les hydrocarbures benzéniques substitués rappelle encore son œuvre en Chimie organique.

2. «La Société regrette que Dr. Walker, un de ses membres ordinaires, passe dans la catégorie des membres correspondants.»

Walker s'était rendu à Londres pour travailler sous Ramsay dont il avait fait la connaissance à Leeds en 1890, lors de la session de la *British Association* où eut lieu la séance mémorable sur les théories révolutionnaires de van 't Hoff et d'Arrhenius. C'est Ostwald qui les présenta l'un à l'autre en prononçant leurs noms à l'allemande, de sorte qu'après qu'Ostwald les eut quittés ils conversèrent longtemps en allemand avant de découvrir qu'ils étaient des compatriotes. C'est grâce à la collaboration des deux savants que les théories de l'osmose et de l'ionisation ne tardèrent pas à prendre faveur en Grande-Bretagne.

Revenons à l'*Alembic Club*. L'année 1893 marque une étape décisive dans ses destinées: le 13 février, Leonard Dobbin, fatigué d'attendre l'approbation de son projet relatif aux réimpressions, annonce carrément à ses collègues qu'il a pris sur lui de commander l'impression du mémoire célèbre de Joseph Black intitulé *Experiments upon Magnesia Alba, Quicklime, and some other Alcaline Substances* et demande la permission de l'annoncer comme le No. 1 d'une série de publications présentées par l'*Alembic Club*, ajoutant qu'il prend tous les frais à sa charge. Après un bref débat le *Club* accepte la proposition.

Dobbin poursuivit l'entreprise avec énergie, malgré la tiédeur évidente de ses collègues qui la tenaient pour téméraire. Le 15 juillet il fait savoir que 60 exemplaires du No. 1 ont été vendus et que le No. 2, *Foundations of the Atomic Theory*, publié également à ses frais et contenant des mémoires de Dalton, de Wollaston et de Thomson, vient de paraître et s'écoule lentement. En 1894, Dobbin édite deux autres réimpressions et Walker une. Celui-ci est nommé la même année à la chaire de Chimie de l'*University College* de Dundee. Pas moins de six réimpressions nouvelles parurent en 1895: Dobbin en publia trois, Marshall deux et Walker une. Les ventes marchaient mal et il ne semblait guère probable que l'opération pût faire ses frais de si tôt. Cependant les réimpressions avaient très bonne presse dans les revues de Chimie; les professeurs et les historiens de la Chimie, tant en Amérique qu'en Grande-Bretagne, s'y intéressaient de plus en plus, et Crum Brown avait offert de participer au financement d'une publication ambitieuse: une version anglaise du livre remarquable de Mayow intitulé *Tractatus Quinque Medico-physici* qui prévoit un siècle à l'avance plusieurs des découvertes de la Chimie dite 'pneumatique'. L'ouvrage, traduit du latin par Dobbin, et mis ainsi pour la première fois à la portée des chimistes britanniques, parut en 1907. C'est le No. 17 des réimpressions de l'*Alembic Club*.

Mais déjà la situation a changé. La vente des premiers opuscules commence à laisser des bénéfices. On maintint alors le profit à un minimum en réduisant le plus possible les prix de vente. Ceux qui avaient fait les premiers débours consacrèrent les sommes qui leur revenaient à refaire les stocks de numéros à mesure qu'ils s'épuisaient. De plus, chaque membre à sa mort, ou avant, faisait don au *Club* de tous ses droits futurs, de sorte que celui-ci devint le seul propriétaire de la série entière des 21 réimpressions dont la liste est donnée ci-après. Vers la fin de 1953 le nombre total d'exemplaires vendus dépassait 33 000. Le coup d'audace de Leonard Dobbin avait donc abouti à un succès, et un groupe d'amateurs avaient mené à bien une entreprise d'édition qui, au début, paraissait vouée à un échec.

Le nombre des membres du *Club* ne varie pas de 1891 à 1929. En 1897, Ralph Stockman va occuper la chaire de «matière médicale» à l'Université de Glasgow, poste qu'il occupera 40 ans. En 1908 Crum Brown — le vétéran qui avait assisté au memorable Congrès de Karlsruhe en 1860, lorsque Cannizzaro répandit de la lumière sur la Chimie en remettant en honneur l'hypothèse d'Avogadro — Crum Brown quitte enfin la chaire de Chimie d'Edimbourg. Sa

retraite donne lieu à un curieux incident: James Walker, de Dundee, et Alexander Smith, de Chicago, se trouvent sur la liste définitive des candidats au poste vacant. C'est une Commission de sept membres, trois délégués du Conseil de l'Université et quatre du Conseil Municipal, qui doit faire la nomination, et la coutume à cette époque veut que chaque candidat rende visite à chaque «électeur» et sollicite son appui. Cette pratique donnait souvent lieu à des intrigues de coulisses. Or, Smith et Walker se sont engagés, d'après le règlement de l'*Alembic Club*, à «s'employer individuellement et collectivement à l'avancement professionnel de ses membres»; ils se rendent donc bras-dessus bras-dessous chez les électeurs et au grand étonnement de ceux-ci chacun fait valoir les qualités de l'autre! Smith a dû considérer la nomination de Walker par 4 voix contre 3 comme un triomphe personnel.

La succession de Walker à Dundee échut également à un membre du *Club*, Hugh Marshall, à qui sa brillante découverte des persulfates quelques années auparavant avait valu l'admission à la *Royal Society*. Il mourut de la fièvre typhoïde en 1913.

Quand Sir James Walker se retira en 1928, chargé des lauriers que lui avaient rapportés vingt ans d'efforts pour «faire mieux connaître l'Université d'Edimbourg comme centre de recherches chimiques», c'est l'auteur de ces lignes, un de ses anciens élèves, qui lui succéda, après avoir, à la sortie de l'Université, fait un stage en Amérique, sous Alexander Smith, et eu l'honneur à son retour d'être élu membre de l'*Alembic Club*. Par la suite deux autres élèves de Walker devinrent membres: Irvine Masson, Professeur de Chimie à l'Université de Durham, en 1932, et Oswald James Walker, maître de conférences de Chimie à l'*University College* de Londres, en 1937.

Pendant toute cette période Leonard Dobbin fut l'âme de la Société. Il prit sa retraite en 1924 après une longue carrière à l'Université d'Edimbourg. Néanmoins, jusqu'à sa mort à l'âge de 94 ans, en mars 1952, il continua à s'intéresser, avec un surcroît d'assiduité à l'histoire de la Chimie, son sujet favori, et à l'*Alembic Club*. En 1946, bien que son esprit eût conservé toute sa vigueur, il fut contraint en raison de ses infirmités physiques, de se démettre du secrétariat de la Société; mais jusqu'à la fin son successeur, le signataire de ces lignes, ne manquait pas de le consulter sur les questions de politique générale. Dans les derniers temps il entretenait quelques craintes quant à l'avenir du *Club*. Toutefois son successeur est convaincu qu'il a agi comme Dobbin lui-même l'aurait souhaité, quand, d'entente avec les deux membres qui restaient, il offrit à la *Royal Society* d'Edimbourg la totalité des biens du *Club* et la mission de veiller à ce que ses publications ne soient pas interrompues.

L'offre fut cordialement acceptée et l'on a depuis rédigé et adopté un règlement pour l'administration des biens de l'*Alembic Club* sous l'égide de la *Royal Society* d'Edimbourg. Le *Club* renforcé de quelques dirigeants de la *Royal Society* sera désormais un organisme autonome ayant une existence illimitée. Il compte parmi ses nouveaux membres Norman Feather, Professeur de Sciences Naturelles à l'Université d'Edimbourg et John E. Mackenzie, ancien collaborateur de Leonard Dobbin et son successeur à la maîtrise de conférences de Chimie. L'on se propose, moyennant des fonds suffisants, de fonder un prix quinquennal de l'*Alembic Club* à l'intention des historiens scientifiques et d'instituer des conférences *Alembic Club*. La première de celles-ci sera officiellement intitulée la Conférence Commémorative Leonard Dobbin.

L'objectif principal sera toutefois de continuer la publication des réimpressions et d'ajouter à la série d'autres numéros ayant trait à la Chimie et aux sciences apparentées.

RÉIMPRESSIONS DE L'ALEMBIC CLUB

1. BLACK: *Experiments upon Magnesia Alba, Quicklime, and some other Alcaline Substances.*
2. DALTON, WOLLASTON, et THOMSON: *Foundations of the Atomic Theory.*
3. CAVENDISH: *Experiments on Air.*
4. DALTON, GAY-LUSSAC et AVOGADRO: *Foundations of the Molecular Theory.*
5. HOOKE: *Extracts from «Micrographia».*
6. DAVY: *The Decomposition of the Alkalis and Alkaline Earths.*
7. PRIESTLY: *The Discovery of Oxygen, Part I.*
8. SCHEELE: *The Discovery of Oxygen, Part II.*
9. DAVY: *The Elementary Nature of Chlorine.*
10. GRAHAM: *Researches on the Arseniates, Phosphates, and Modifications of Phosphoric Acid.*
11. *Essays of Jean Rey.*
12. FARADAY: *The Liquefaction of Gases.*
13. SCHEELE, BERTHOLLET, DE MORVEAU, GAY-LUSSAC, et THENARD: *The Early History of Chlorine..*
14. PASTEUR: *Researches on the Molecular Asymmetry of Natural Organic Products.*
15. KOLBE: *The Electrolysis of Organic Compounds.*
16. WILLIAMSON: *Papers on Etherification, and on the Constitution of Salts.*
17. MAYOW: *Medico-physical Works.*
18. CANNIZZARO: *Sketch of a Course of Chemical Philosophy.*
19. VAN 'T HOFF et ARRHENIUS: *The Foundations of the Theory of Dilute Solutions.*
20. PROUT, STAS, et MARIGNAC: *Prout's Hypothesis.*
21. COUPER: *On a New Chemical Theory, and Researches on Salicylic Acid.*

Le Jardin des Plantes de Montpellier

par HERVÉ HARANT

Montpellier a été dès le XIIIème siècle un centre réputé d'études médicales, et le Jardin Botanique depuis sa fondation sous le règne de Henri IV est une annexe de la Faculté de Médecine. Le présent article donne une description du Jardin, en retrace l'histoire, et rappelle les célébrités qui s'y rattachent à divers titres. Le Jardin, à la fois patrimoine scientifique et terrain précieux d'observations, est actuellement en voie de restauration et d'agrandissement, et son Institut de Botanique sera reconstruit et modernisé.

Depuis le XIIème siècle, un studium en Médecine assez fréquenté réunissait à Montpellier des élèves venus de divers points d'Europe. L'Ecole subissait la triple influence des Arabes, des Juifs et des Chrétiens de Salerne. Dès l'année 1220, une bulle du Cardinal Conrad, légat du Saint-Siège en Languedoc, avait consacré l'enseignement de la Médecine sous la forme d'une Université. Il est évident, qu'au moment où s'épanouissait l'art médical à Montpellier, la connaissance de l'Histoire Naturelle devenait indispensable dans l'enseignement comme en témoignent les documents relatifs aux activités d'illustres savants depuis le XIIIème siècle. Arnaud de Villeneuve, régent de la Faculté à cette époque, Michel Nostradamus, Docteur de 1529, Ruellius s'occupèrent à Montpellier de recueillir des plantes, alors même que l'enseignement de la Botanique n'existait pas dans notre ville. Cependant, dès 1550 et sans doute même avant cette date, des herborisations régulières étaient organisées, témoin l'article 6 de l'arrêt des Grands-Jours (Béziers, 1550): «Seront tenus les dits Chanceliers, Docteurs et Conseillers, députer l'un d'entre eux Docteur des plus idoines et suffisant pour lire aux écoliers et montrer oculairement les simples; depuis la fête de Pâques jusques à la fête de la Saint-Luc, et lui constituer salaire compétant à payer par le dit Trésorier, et pour chercher les dits simples en la dite ville de Montpellier et lieux circonvoisins, seront, aux dépens de la dite bourse, députés un ou plusieurs, lesquels y vacqueront le plus diligemment que faire se pourra». Ainsi, plusieurs savants en renom purent se distinguer dans cet enseignement: le zoologiste Rondelet qui n'en a pas moins été célèbre botaniste, maître de Lobel, Clusius, Bauhin et Dalechamp, l'humaniste Rabelais dont Fuchsius fut le condisciple. Il est probable qu'à cette époque, les élèves en Médecine ne disposaient que d'un modeste «hortulus» dont on a trouvé les traces dans la cour de la vieille Ecole de Médecine. En fait, un Jardin des Plantes devenait le complément indispensable d'un enseignement déjà brillant destiné à des hommes que le Languedoc attirait par la réputation de ses maîtres et la richesse de sa flore méditerranéenne. Déjà, la République de Venise avait fondé le Jardin de Padoue en 1545 et Cosme de Medicis celui de Pise l'année suivante; Bologne créa son Jardin en 1568, Leyde en 1577 et Leipzig deux ans après. Le roi de France, Henri IV, confia à Pierre Richer de Belleval dès 1593, la mission de fonder à Montpellier un Jardin des Plantes dont le premier tracé nous est encore donné par la reproduction d'une estampe à l'eau forte attribuée à Richer de Belleval lui-même (figure 1). Bien qu'une partie du Jardin primitif ait été détruite en 1622 au moment des guerres de religion, nous conservons encore le dispositif en gradins datant de Richer de Belleval et appelé communément «La Montagne».

Pendant près de deux siècles, le Jardin ne subit pas de modifications importantes; cependant, à côté de surintendants naturalistes oubliés, Martin Richer de Belleval (1632–64), neveu du fondateur, les quatre Chicoyneau, Imbert (1760–85), d'illustres érudits ont laissé un souvenir durable dans l'histoire des sciences: Pierre Magnol qui n'occupa les fonctions de Directeur que pendant trois ans (1694–97) eut l'idée de grouper systématiquement les plantes en familles; s'il n'eut pas le temps d'aménager le Jardin, il lui rendit d'éminents services par sa notoriété de botaniste. Il eut de plus pour élèves, Joseph Pitton de Tournefort et Antoine de Jussieu. François Boissier de Sauvages, surintendant du Jardin de 1740 à 1758, humaniste distingué, établit une classification botanique fondée sur l'appareil végétatif; parti de la Botanique, il alla vers la Médecine en proposant une classification nosologique des maladies d'après une méthode naturelle. Antoine Gouan succéda à Sauvages mais n'arriva à la maîtrise que vieux et malade (1794–1803) pour céder la place à Auguste

Broussonnet. A la fois zoologiste et botaniste, homme politique et voyageur, ce dernier importa en France le Ginkgo (*Ginkgo biloba*) et le Mûrier (*Morus nigra*) et régénéra le Jardin en édifiant la Grande Orangerie, une serre tempérée, et en creusant dans l'Ecole Botanique un canal pour la culture des végétaux aquatiques. Mort précocément à 46 ans, Broussonnet eut pour successeur l'illustre Pyrame de Candolle. Bien qu'il ne passa que neuf ans (1807–16) à la tête du Jardin, sa personnalité puissante laissa chez nous une marque profonde; des aménagements notables furent entrepris et, en particulier, la création d'une serre chaude et de l'Ecole forestière, l'installation de canaux d'arrosage et l'organisation d'une vaste Ecole Botanique dont on a respecté jusqu'à notre époque le plan primitif. Dunal, un des meilleurs élèves de de Candolle, assura l'intérim de la direction du Jardin (1816–19) mais n'en devint pas directeur, car il n'obtint pas la chaire de la Faculté de Médecine. Alire Raffeneau-Delile lui succéda. Nous lui devons l'introduction des beaux *Nelumbium* qui ornent le lac de notre Jardin Anglais et l'apport de Cycadacées intéressantes dans nos serres.

Dans la deuxième partie du XIXème siècle, trois savants éminents occupèrent les fonctions de Directeur. Charles Martins (1851–79) créa l'Ecole des Plantes Médicinales, un fruticetum aujourd'hui disparu; il aménagea le Jardin Anglais et la grande serre froide qui porte son nom. Homme de chez nous, Jules-Emile Planchon, après des séjours à Kiew et à Gand devint maître dans l'art de la Botanique; il édifia une serre à multiplications et se rendit surtout célèbre en jouant un rôle prépondérant dans la défense du vignoble français ravagé par le phylloxera. Maurice Granel veilla pendant neuf lustres (1889–1933) aux aménagements de notre Jardin des Plantes où il opéra d'heureuses transformations avec la collaboration d'un jardinier-chef de grande classe Jules Daveau.

Cependant, au cours du XIXème siècle, les enseignements de l'Histoire Naturelle furent dispensés respectivement à la Faculté de Médecine, à la Faculté des Sciences, et à l'Ecole de Pharmacie (aujourd'hui Faculté); c'est ce qui explique qu'à côté du Directeur du Jardin des Plantes, toujours recruté par tradition parmi les titulaires de la chaire de la Faculté de Médecine, d'illustres botanistes ont travaillé dans notre Jardin. Un nom célèbre entre tous ne saurait être passé sous silence, celui de notre maître Charles Flahault, fondateur de l'Institut Botanique et Chef d'Ecole incontesté. De nos jours, après les périodes de guerre et d'occupation, mon prédécesseur immédiat, le professeur Galavielle maintint, dans des circonstances particulièrement difficiles, l'unité du Jardin.

Avant les aménagements projetés qui doivent s'harmoniser avec la construction d'un vaste et moderne Institut de Botanique dont une aile est déjà édifiée, voici l'état actuel du Jardin des Plantes de Montpellier (figure 5). Domaine de 6 hectares à grand axe Nord-Sud, le Jardin est divisé en deux parties par «La Montagne» primitive axée en direction Est-Ouest: l'allée principale de la Montagne, où nous trouvons des reliques végétales du temps de la fondation, aboutit jouxte l'Hôtel du Rectorat devant lequel un arbre de Judée (*Cercis siliquastrum*), ancien et remarquable, vit aujourd'hui grâce aux rameaux inférieurs remplaçant un tronc jadis vermoulu et détruit. Une des plus belles glycines de France *Wistaria sinensis* tapisse de sa gracieuse verdure les murs du Palais Académique. Non loin de là se dresse la statue de Pierre Richer de Belleval récemment inaugurée. La vaste école de Candolle est bordée par l'orangerie, la serre Planchon, une serre à Orchidées et une serre à multiplications; quelques intéressants sujets sont encore présents malgré les déprédations de la guerre: *Dammara*, *Callistemon*, *Vanda*, *Pandanus*, *Pterospermum*, Mésembryanthèmes et Cycadacées divers. A défaut de quelques végétaux exotiques que nous avons perdus et dont nous souhaitons la réintroduction prochaine, nos plates-bandes s'en; richissent des spécimens variés de la flore méditerranéenne, de la garrigue à la mer bleue. Aux Térébinthes et aux Lentisques se mêlent les Hélianthèmes et les Cistes variées, l'Aphyllante de Montpellier et les candélabres de l'Asphodèle. Avec le Chêne Kermès, le Thym, la Lavande, le Genévrier Oxycèdre sont également présents. Parmi les herbacées, on note diverses espèces de Narcisses et des Orchidées indigènes. Cependant ailleurs sont représentés les végétaux de la dune ou des falaises maritimes: Matthioles, Malcomies, Frankénies, Coris, et les diverses Chénopodiacées succulentes de ces terrains.

Autour du Jardin de Candolle sont placés les bustes des vieux maîtres, Directeurs ou Naturalistes célèbres ayant travaillé dans le Jardin. Auprès du Ginkgo de Delile se trouve le «Tombeau de Narcisse»: ce tombeau n'est pas dédié au plus séduisant des adolescents de la Mythologie, mais bien à la fille de Young, le poète des Nuits, laquelle succomba à Montpellier.

En repassant au-delà de la Montagne dans la

A

FIGUR
Belleve
Au pre

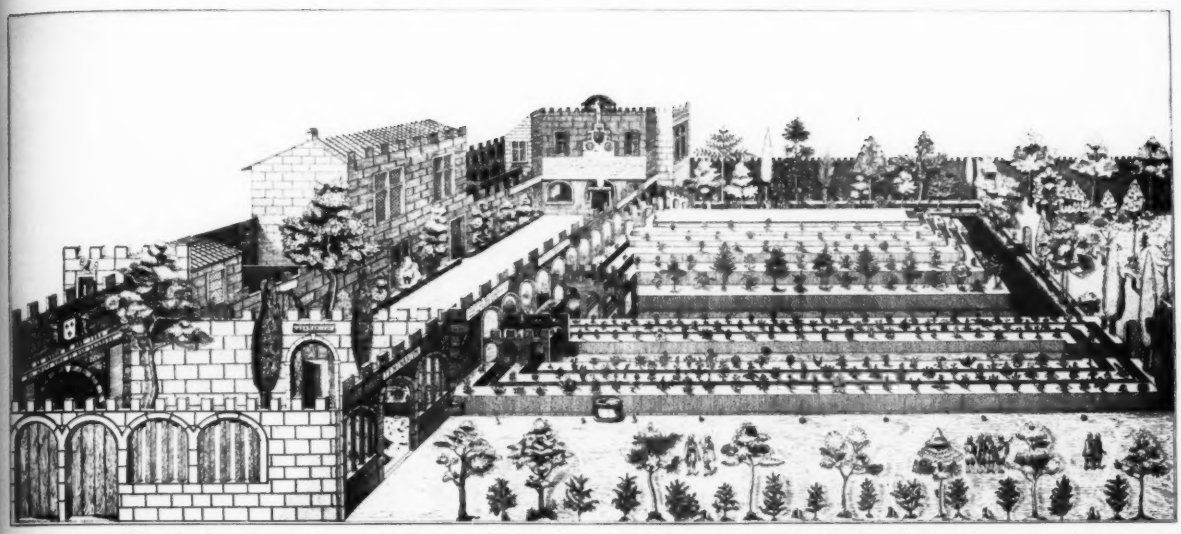


FIGURE 1 – *Reproduction d'une gravure attribuée à Richer de Belleval montrant l'état primitif du Jardin à la fin du XVIème siècle. Au premier plan: allée de Lauriers et de Grenadiers. A gauche, le séminarium, entrée d'une pépinière d'arbres étrangers. Au centre, les gradins de «La Montagne» avec les plantes médicinales; des numéros d'ordre étaient gravés dans la pierre.*

FIGURE 2 – *Buste de J. E. Planchon devant l'Orangerie.*

FIGURE 3 – *Buste de Charles Martins.*

FIGURE 4 – *Allée principale de «La Montagne».*

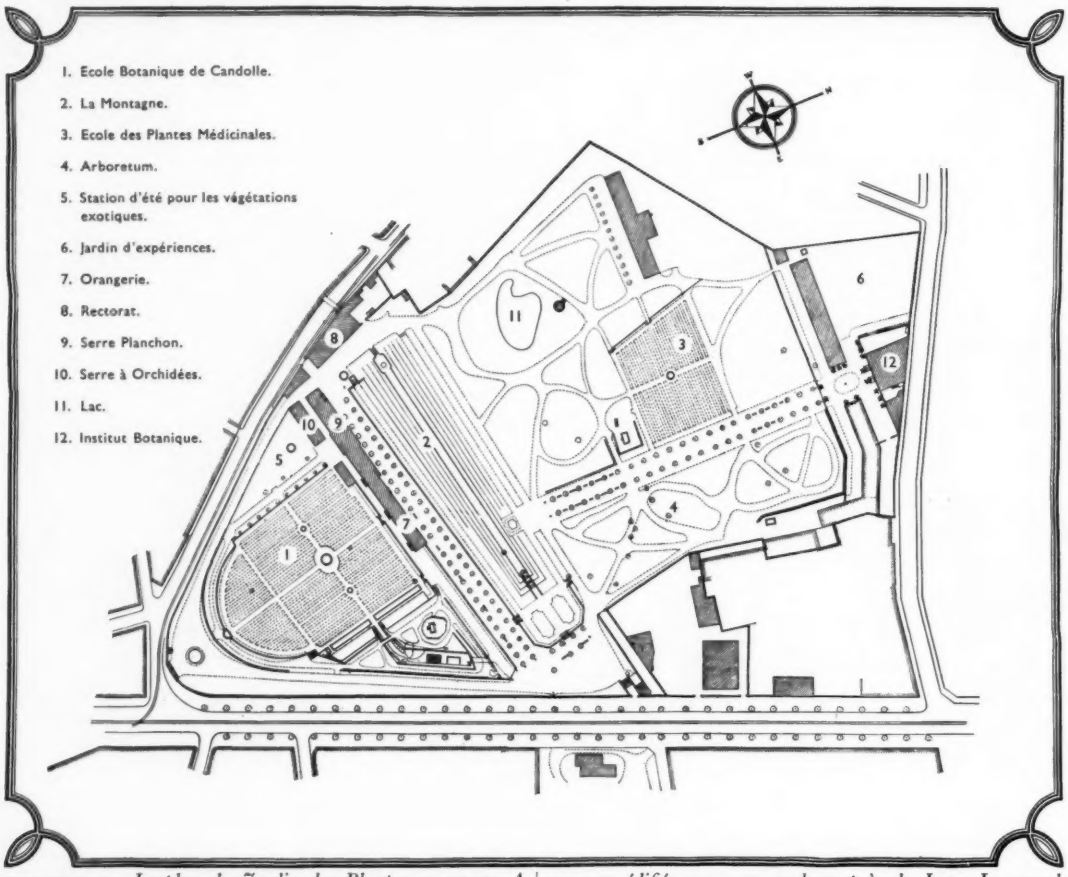


FIGURE 5 – *Le plan du Jardin des Plantes en 1942: A gauche, la grande Ecole de Candolle et à droite, de l'Est à l'Ouest, l'Ecole Forestière, l'Ecole des Plantes Médicinales et le Jardin Anglais. Ce plan de 1942 sera profondément modifié dans le secteur Nord-Nord-Ouest lorsque s'achèveront les travaux de construction du nouvel Institut Botanique et que sera édifiée une serre moderne près du Lac. Le nouvel Institut de Botanique abritera les chaires de Botanique de la Faculté des Sciences et de la Faculté de Pharmacie, la chaire d'Histoire Naturelle de la Faculté de Médecine, les services techniques et administratifs du Jardin des Plantes.*

partie moderne du Jardin, nous observons près de la porte orientale un superbe Micocoulier (*Celtis australis*), ce majestueux arbre de Provence, le «Falabrègue» de Mistral. Nous pénétrons ensuite à droite dans l'Ecole forestière crée par de Candolle et agrandie par Granel en 1910. Quelques beaux arbres y demeurent encore, en particulier l'imposante Ulmacée *Zelkowa crenata* dont on signalait déjà à la fin du siècle dernier, les douloureuses blessures. En sortant de l'Ecole forestière, nous traversons la grande allée de Candolle, plantée de Marronniers. Nous pénétrons successivement dans l'Ecole des Plantes Médicinales, d'ailleurs en pleine réfection, riche de huit cents espèces, puis dans une série de pelouses d'acclimatation auprès d'un ancien puits à roue qui alimentait primitivement cette partie du Jardin, enfin dans le Jardin Anglais situé autour du Lac des Nélumbos, devant la serre Martins. C'est à la surface de ce lac tranquille, en effet, que s'étalent à la belle saison, les feuilles peltées d'un beau vert glaucescent de cette magnifique nymphéacée. Leurs grandes fleurs solitaires au sommet de longs pédoncules dressés montrent ici de ravissantes corolles roses, blanches et carminées. Autour de ces belles captives, diverses plantes aquatiques épanouissent leurs fleurs ou leurs modestes épis. Récemment, nous avons introduit dans les vasques autour du bassin la flore d'accompagnement des rizières de Camargue.

Les semi-conducteurs

par KARL K. DARROW

L'auteur fait une mise au point des connaissances acquises sur ces corps dont la conductivité dépend de certaines conditions. Il propose une définition et entreprend de la justifier, critiquant chemin faisant en détail les théories acceptées sur le comportement des semi-conducteurs. Il n'y a pas longtemps que ceux-ci retiennent l'attention des savants, mais c'est surtout la récente et remarquablement utile invention des «transistors» qui a donné un essor considérable aux études théoriques sur cette question.

Il semblerait que ce mot de semi-conducteur dût signifier: qui n'est que moitié d'un conducteur, mais je crois pouvoir affirmer que cette définition est la seule que n'ait jamais été proposée. On les a définis d'abord comme des corps moins conducteurs que les métaux, mais notablement plus conducteurs que les isolants. Ensuite, on les a définis comme des corps dont la conductibilité augmente avec la température. Cette définition les différencie des métaux; elle est encore assez satisfaisante mais n'est plus valable pour tous. Certains ont voulu en faire des corps qui ne seraient conducteurs qu'en raison de leurs impuretés; c'est un point de vue désormais trop limité. Dans l'état actuel des choses, je propose qu'on les considère comme des conducteurs électroniques dont le nombre d'électrons libres dépend de la température. Là encore des précisions sont nécessaires. Par exemple, il faut tenir compte des trous. J'y reviendrai par la suite.

On considérait autrefois les semi-conducteurs comme des bizarreries de la nature, dignes sans doute de l'attention des physiciens, mais d'une importance pratique négligeable en regard des métaux. Le mot de semi-conducteur ne se trouve même pas dans l'index alphabétique des manuels d'électricité publiés avant 1915. A présent, tout est changé — L'index alphabétique de 1952 des *Physics Abstracts* indique l'existence de trois fois plus de publications sur les semi-conducteurs que sur les métaux. Cette évolution résulte du développement de deux questions du domaine de la physique appliquée: l'étude des redresseurs à jonctions entre semi-conducteurs et métaux, et l'invention récente du transistor. Il est intéressant de noter que parfois — je ne dis pas: toujours — les semi-conducteurs permettent pour certaines théories de meilleures vérifications que les métaux eux-mêmes.

Les conducteurs électroniques comprennent les métaux et les semi-conducteurs. Un conducteur électronique contient une énorme quantité d'électrons liés qui ne nous intéressent que lorsqu'ils sont libérés; il contient également des électrons libres. L'ensemble de ces derniers forme un gaz électronique dont les particules vagabondent à travers le corps avec les énormes vitesses de l'agitation thermique. Sous l'influence d'un champ électrique, ce gaz se met à dériver dans des directions fixes; il devient un vent électronique. C'est ce vent qui est le courant électrique. Sa vitesse est proportionnelle à l'intensité du champ, excepté dans des conditions extrêmes dont cet article ne fera pas état. Le rapport de la vitesse à l'intensité du champ, en d'autres termes la vitesse pour un champ d'intensité unité, est une caractéristique du corps: c'est sa mobilité. Je vais ici introduire deux symboles: μ pour la mobilité, et N pour le nombre d'électrons libres par unité de volume.

On trouve les valeurs de μ et N au moyen de l'expérience bien connue qui met en évidence ce que l'on appelle l'effet Hall. E. H. Hall, diplômé de l'Université John Hopkins de Baltimore, termina son doctorat par l'une des thèses les plus brillantes de tous les temps. Sa première observation de l'effet date de 1879. Il avait aussi vingt ans d'avance sur la théorie électronique, ses résultats sont donc présentés en termes autres que ceux que nous emploierons ici.

Supposons un ruban de conducteur électronique placé dans le plan du papier (figure 1) avec une batterie pour y amener le courant. Supposons l'extrémité droite positive; d'après la convention traditionnelle, le courant se dirige de droite à

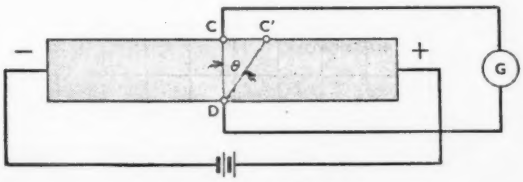


FIGURE 1 – *Effet Hall.*

gauche, sens opposé à celui du vent électronique. Les équipotentielles seront perpendiculaires à cette direction (comme CD, figure 1). Appliquons deux électrodes sur les côtés du ruban, aux extrémités opposées C et D de l'une de ces équipotentielles, et relions-les par un galvanomètre. Aucun courant ne traverse ce galvanomètre. Appliquons maintenant un champ magnétique perpendiculaire au plan du ruban, dirigé, par exemple, vers l'observateur. Il passe maintenant un courant dans le galvanomètre. La ligne CD n'est plus équipotentielle. La ligne équipotentielle a subi une déviation d'angle θ de gauche à droite, et elle est venue en C'D. On peut annuler le courant qui traverse le galvanomètre par une force électromotrice de quantité et de signe voulus, dans le circuit du galvanomètre, ou en déplaçant l'électrode de C en C'. Expliquons maintenant ces phénomènes à la lumière des théories électroniques.

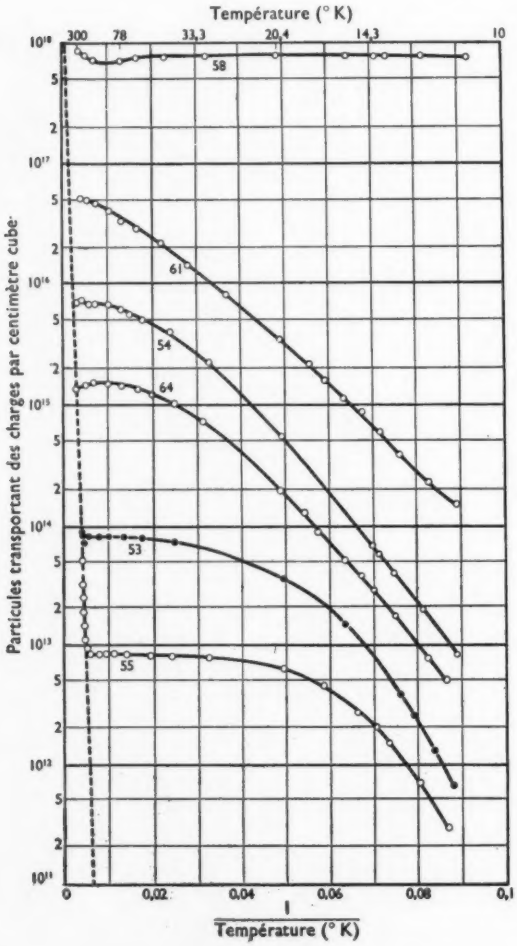


FIGURE 2 – *Variation de N avec $1/T$.*

Le vent électronique souffle le long du ruban de gauche à droite avec une vitesse v, c'est-à-dire μE: E représente ici l'intensité du champ électrique. Un électron qui se meut à la vitesse v perpendiculairement à un champ magnétique de force H subit une force evH/c perpendiculaire à la fois à la direction du champ et à celle du mouvement de l'électron; c représente ici un facteur imposé par les unités employées; si l'on se sert des unités classiques c est égal à la vitesse de la lumière dans le vide. Les électrons sont repoussés vers le bord supérieur du ruban où ils tendent à s'accumuler. A mesure qu'ils s'accumulent, ce bord devient plus négatif que le bord inférieur et, ceci s'accentue jusqu'à ce que la force magnétique appliquée à un électron et dirigée vers le haut, soit équilibrée par une force électrique équivalente dirigée vers le bas. N'oublions pas le champ électrique horizontal qui exerce sur l'électron une force eE dirigée vers la droite; nous voyons alors que les électrons subissent une force électrique résultante déviée de l'horizontale d'un angle θ vers la droite. Cet angle est aussi l'angle de déviation de la ligne équipotentielle. La tangente est donnée par l'équation:

$$\operatorname{tg}\theta = (evH/c)/eE = (e\mu EH/c)/eE = \mu H/c. \quad (1)$$

C'est là la formule fondamentale de l'effet Hall, donnant la mobilité du gaz électronique en fonction de grandeurs mesurables.

Puisque j'ai défini le semi-conducteur comme un corps dans lequel N, nombre d'électrons par unité de volume, varie avec la température, laissons pour l'instant de côté la mobilité et voyons comment l'effet Hall détermine N.

La densité de courant i dans le fil est le produit de la vitesse μE, par le nombre d'électrons par unité de volume, N, et par la charge d'un électron e, ce qui donne $Ne\mu E$. D'où $\mu = i/NeE$. En portant ceci dans l'expression (1) nous trouvons:

$$N = iH/ecE \operatorname{tg}\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Nous avons là une deuxième forme de l'équation fondamentale de l'effet Hall.

C'est de cette façon que nous avons traité les résultats expérimentaux d'où sont tirées les courbes de la figure 2. L'étude de ces courbes est très instructive. Avant de les lire, retenons bien que l'on porte en abscisse l'inverse $1/T$ de la température absolue, si bien que les températures les plus élevées se trouvent à gauche. De plus, on a porté en ordonnée log N. Cependant, on a figuré les

valeurs de N sur l'axe vertical et celles de T en haut du diagramme.

Ces courbes correspondent à des échantillons de germanium, le plus célèbre désormais des semi-conducteurs, mélangé de quantités variables d'arsenic: l'échantillon 55 était le plus pur, 58, le plus impur. Nous sommes ici en mesure de déceler l'origine de ce vieux préjugé, que les semi-conducteurs ne conduisent qu'en raison de leurs impuretés. Dans la partie du diagramme correspondant aux basses températures, l'énorme effet des impuretés est manifeste; mais du côté des hautes températures toutes les courbes se fondent en une seule. Il est raisonnable de penser que cette courbe, extrapolée vers le bas, représenterait le comportement d'un échantillon de germanium idéalement pur. On appellerait un tel échantillon semi-conducteur intrinsèque, terme que l'on applique en général aux semi-conducteurs du côté des hautes températures, c'est-à-dire là où les courbes ne sont plus différenciées.

Du côté basses températures, presque toutes les courbes montent avec la température. Ceci revient à dire que certains électrons qui sont liés aux atomes à basse température, sont libérés par la chaleur. Il est évident que les atomes auxquels sont liés ces électrons détachables doivent provenir d'impuretés. Ce sont ici les atomes d'arsenic. On peut évaluer, grâce à ces courbes, la quantité d'énergie nécessaire pour libérer d'un atome étranger un électron détachable; les valeurs sont généralement de l'ordre de quelques centièmes d'électron-volt. Deux de ces courbes semblent faire exception. Celle de l'échantillon 58 est rectiligne. C'était l'échantillon possédant la plus grosse concentration en impuretés et son aplatissement signifie que lorsque les atomes étrangers sont proches les uns des autres, le travail de détachement devient si faible que tous les électrons détachables ont déjà été libérés à 11°K. La courbe de l'échantillon 64 prend une direction opposée aux autres, aux environs de 300°K, d'où l'on pouvait conclure que cette fois les électrons perdent progressivement leur liberté à mesure que la température s'élève. La véritable raison est que la formule (2) est trop schématique et ne donne pas pour N dans cette région des valeurs correctes.

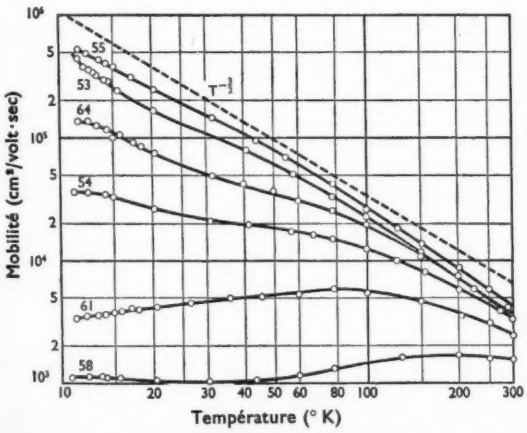


FIGURE 3 – *Variation de la mobilité avec la température.*

D'après les courbes dans le domaine intrinsèque, on peut évaluer la quantité d'énergie nécessaire pour libérer un électron dans la texture du germanium, que celui-ci soit pur ou non. Elle est d'environ 0,75 électron-volt. La valeur correspondante pour le silicium est d'environ 1,10 électron-volt. Ces valeurs dépendent de la température.

Nous avons dit que sous l'influence d'un champ électrique E le gaz d'électrons devient vent d'électrons. Sa vitesse est de μE; le coefficient μ est par définition la mobilité; excepté dans certaines conditions extrêmes, μ est indépendant de E. La raison en est que les électrons libres sont exposés à deux influences opposées. L'une d'elles est le champ E, qui augmente leur vitesse dans sa direction. Appelons cela « vitesse montante». Un électron libre reçoit du champ une vitesse montante; il gagne aussi en énergie cinétique. Mais il se heurte de temps à autre à un obstacle qui lui enlève sa vitesse montante et l'énergie cinétique gagnées depuis le choc précédent.

On a supposé d'abord que ces obstacles étaient des atomes. Cette supposition semble si naturelle qu'il est difficile de la croire fausse; les conclusions auxquelles elle a mené sont cependant en contradiction avec l'expérience. L'hypothèse courante se traduit mieux en termes mathématiques qu'en mots; on peut cependant la traduire de la façon suivante: Les obstacles qui s'opposent aux électrons sont les ondes élastiques maintenues dans le solide par l'agitation thermique. Cette théorie amène la conclusion que la mobilité devrait varier comme l'inverse de la puissance 3/2 de la température. Cette loi en $T^{-3/2}$ est traduite par la ligne de traits de la figure 3, où l'abscisse est T sur échelle logarithmique, et où la partie basses températures se trouve à gauche. Les courbes correspondent aux mêmes échantillons de germanium mélangé d'arsenic que dans le cas de la figure 2. On voit que plus l'échantillon est pur, plus les résultats se conforment à la loi en $T^{-3/2}$. Il est raisonnable de supposer que dans le germanium idéalement pur, la mobilité est déterminée par

l'agitation thermique du solide — ou, comme on dit souvent — du réseau.

Les courbes de la figure 3 montrent aussi qu'en présence d'impuretés, il y a autre chose qui réduit la mobilité, et qui la réduit d'autant plus que la quantité d'impuretés est plus forte et la température plus basse. Cet autre facteur est la charge électrique des atomes étrangers; ceux d'entre eux qui ont fourni leur contingent à l'armée des électrons libres sont, de ce fait, restés chargés positivement. Ces atomes font dévier les électrons qui les approchent et sont de nouveaux obstacles au vent électronique. Il est intéressant de noter qu'on utilise ici la théorie mathématique développée par Rutherford dans le cas de la déviation des particules α par les noyaux atomiques.

Bien que cet article ne concerne pas les métaux, je ne puis éviter de souligner l'un des contrastes entre métaux et semi-conducteurs. Dans les métaux élémentaires purs, la mobilité ne dépend que de la diffusion par le réseau; cependant, la mobilité suit plutôt une loi en T^{-1} qu'en $T^{-3/2}$. La différence provient de ce que, dans les métaux, le nombre d'électrons libres par unité de volume est généralement bien plus élevé que dans les semi-conducteurs. Lorsque des électrons sont groupés en aussi forte densité, ils ne répondent plus à la célèbre loi de distribution de Maxwell-Boltzmann, qui doit s'appliquer pour qu'il y ait une loi en $T^{-3/2}$. Dans les semi-conducteurs, le gaz est en général si raréfié que cette distribution est au contraire dominante, mais il serait exagéré de dire qu'il en est toujours ainsi.

Revenons à l'expression $eN\mu E$ de l'intensité de courant i, et divisons-la par E. Ceci donne par définition la conductivité du corps, désignée d'habitude par σ, $\sigma = eN\mu$. Nous voyons ainsi que σ peut fort bien, soit augmenter, soit diminuer avec la température: augmenter, si l'accroissement de N contrebalance la chute de μ ou si μ croît; diminuer, si N est constant, ou si l'augmentation de N est contrecarrée par la décroissance de μ. Ces cas se trouvent illustrés par la famille de courbes de la figure 4, concernant toujours ce même groupe d'échantillons de germanium mélangé d'arsenic.

Nous sommes revenus ici à la pratique de porter en abscisse $1/T$, si bien que la droite représente les basses températures; log σ est l'ordonnée. A basse température on voit la conductivité augmenter avec la température: on considérait autrefois ce comportement comme caractéristique des semi-conducteurs. Pour les températures moyennes, et excepté pour l'échantillon le plus impur, σ diminue à mesure que la température monte; on considérait autrefois ce comportement comme caractéristique des métaux, mais nous voyons qu'il peut être aussi celui de certains semi-conducteurs. A haute température, les échantillons se trouvent dans le domaine intrinsèque, où la présence d'impuretés n'a plus d'influence puisque les électrons libres qu'elles fournissent sont très rares par rapport à ceux qui se détachent du germanium lui-même.

Il nous faut maintenant revenir à l'effet Hall, car j'ai réservé ce qu'il y a de plus sensationnel. On a dit que dans les circonstances représentées par la figure 1 — champ magnétique dirigé vers l'observateur à travers le plan du papier — la ligne équipotentielle est déviée de gauche à droite par le champ magnétique. Cela est valable pour le germanium mélangé d'arsenic; c'est vrai aussi pour de nombreux autres semi-conducteurs, et pour beaucoup de métaux. Il existe aussi des semi-conducteurs et des métaux pour lesquels la déviation se fait de droite à gauche. Sensationnel est bien le mot qui convient à ce phénomène, car il suppose qu'il y a dans ces corps non seulement un

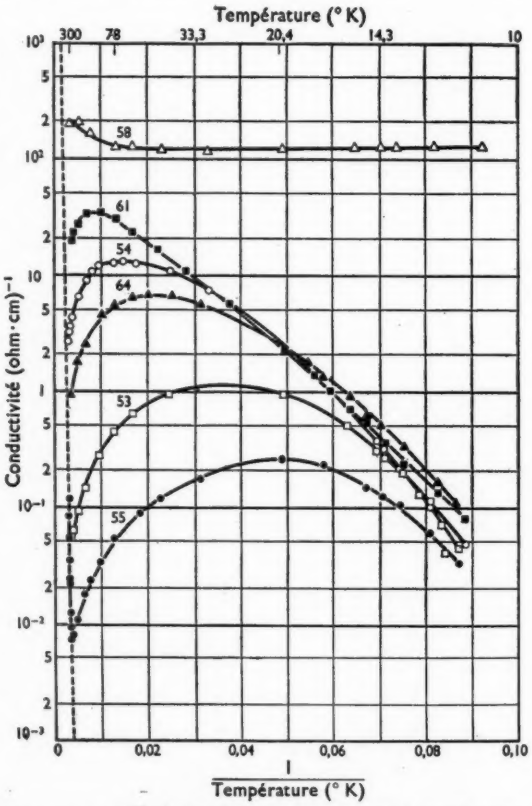


FIGURE 4 – *Variation de la conductivité avec la température.*

vent d'électrons ordinaires négatifs, mais un autre d'électrons positifs. Cependant, les physiciens ne croient généralement pas à l'existence d'électrons positifs dans les métaux ou les semi-conducteurs.

Il y a longtemps déjà, parut en Allemagne un livre intitulé «La Philosophie du Comme Si». Je ne pense pas que l'auteur ait mentionné l'effet Hall, mais celui-ci lui aurait fourni un bel exemple, car les physiciens pensent que dans le corps en question les électrons négatifs se comportent comme s'ils étaient positifs. Nous devons cependant nous exprimer avec plus de nuance.

Ce que j'ai nommé «les électrons liés» dans un corps tel que le germanium, sont répartis en groupes appelés techniquement «bandes». L'un de ces groupes — le seul qui nous occupera — dans le germanium porte le nom spécifique de bande de valence. Au zéro absolu on suppose que cette bande serait complète. Il serait difficile d'expliquer sans s'étendre ce que cela signifie en théorie; en pratique, cela veut dire que les électrons de la bande ne participent pas à la conduction. Au zéro absolu, si nous pouvions l'atteindre, nous trouverions sans doute que le germanium est un isolant.

Il est toutefois possible, soit par la chaleur, soit par un autre artifice quelconque, de retirer un électron d'une bande complète. Supposons qu'il manque à la bande de valence, mettons x électrons pour être complète. Dans ce cas, la théorie des quanta fait une remarque tout à fait intéressante, à savoir, que le groupe ou la bande d'électrons où manquent x électrons se comporte comme un gaz composé de x électrons mobiles positifs. Nous exprimons cet état de choses en disant que le semi-conducteur est envahi par un gaz de «trous». Nous évitons ainsi l'emploi indésirable de l'expression «électrons positifs» et donnons au moins un aperçu sur le fondement théorique.

L'artifice le plus courant pour créer des trous — dépeupler la bande de valence, pourrait-on dire — consiste à mélanger au germanium une impureté de type convenable. L'arsenic, que j'ai toujours pris jusqu'ici comme exemple, ne convient absolument pas. Des atomes de bore ou de gallium feront l'affaire. Ils attirent et capturent les électrons. Ils les enlèvent à la bande de valence et laissent les trous. Un semi-conducteur de ce genre se nomme semi-conducteur du type p. Le germanium mélangé d'arsenic, ou tout autre corps de cet ordre, mélangé d'atomes étrangers qui libèrent facilement leurs électrons, se nomme semi-conducteur du type n. Les atomes d'impuretés qui libèrent facilement leurs électrons se nomment atomes-donneurs, et les atomes d'impuretés qui capturent les électrons de la bande de valence sont les atomes-accepteurs.

Les électrons capturés par les accepteurs sont immobilisés. Ce sont les trous qui doivent assurer la conduction; le courant est le gaz de trous soufflant comme un vent à travers le semi-conducteur. On peut faire l'expérience de Hall et évaluer la concentration N — mieux nommée désormais P — des trous, et la mobilité μ_p des trous, au moyen des formules déjà données; on peut les porter avec la conductivité σ en fonction de la température, ou bien porter leurs logarithmes en fonction de $1/T$.

Lorsqu'on trace ces courbes, on trouve qu'elles ressemblent beaucoup à celles que j'ai données à propos du gaz électronique du germanium mélangé d'arsenic. La concentration P des trous croît avec la température et tend vers une limite. Cela montre que la capture d'un électron dans une bande de valence exige un travail de la part d'un accepteur. En analysant les courbes on trouve que ce travail est de l'ordre de quelques centièmes d'électron-volt, et dépend de la valeur de P. La mobilité dépend conjointement de la diffusion par le réseau, qui prédomine à hautes températures, et de la diffusion par impuretés, sensible à basse température. La conductivité croît en général avec la température et tend vers un maximum, puis décroît jusqu'à ce que soit atteint le domaine intrinsèque. L'analogie avec le gaz électronique se poursuit très loin, mais n'est pas complète. C'est là, soit dit en passant, une autre raison pour éviter en parlant des trous, un terme tel que celui d'électron positif. La mobilité des trous peut être très inférieure à celle des électrons, mettons moitié moins grande. Considérés sous cet aspect, les trous se comportent comme s'ils avaient plus de masse que les électrons. La théorie des quanta indique qu'à l'intérieur d'un solide, les électrons eux-mêmes peuvent se comporter comme si leur masse était différente de la valeur que nous leur connaissons dans les faisceaux électroniques à travers le vide.

Revenons aux semi-conducteurs intrinsèques. L'impression donnée jusqu'ici est que, dans la portion intrinsèque, il ne s'agit que d'électrons libérés de la texture du germanium par la chaleur. Mais ce n'est pas tout, car les électrons en question sont pris à la bande de valence, et les trous abandonnés. Dans le semi-conducteur du domaine intrinsèque, il y a en même temps un gaz électronique et un gaz de trous. Si l'on applique un champ électrique, ils dérivent dans des directions opposées

avec des mobilités différentes. L'expérience de Hall est possible, mais il faut remplacer les formules simples de cet article par d'autres que je ne donnerai pas ici. Elles tiennent évidemment compte de la concentration et de la mobilité, et des électrons et des trous. Sur les figures 2 et 4, les coordonnées des points dans les domaines intrinsèques des courbes ont été calculées à partir des données expérimentales au moyen de ces formules.

Il y a d'intéressantes observations à faire lorsqu'on injecte, si l'on peut dire, un nombre limité de trous dans un semi-conducteur du type *n*. On peut le faire en appuyant une électrode métallique pointue contre une barre de semi-conducteur de façon à ce qu'elle soit positive par rapport à la barre, et en appliquant pendant un certain temps une tension de signe convenable. Les électrons sont attirés hors de la barre; il reste derrière un essaim de trous; et s'il y a un champ électrique, l'essaim dérive le long de la barre en s'élargissant peu à peu, et en s'estompant, mais en gardant son identité. Lorsqu'il passe devant une autre électrode pointue négative par rapport à la barre, il se produit dans l'électrode une ruée d'électrons. C'est ainsi que l'on détecte l'arrivée de l'essaim. Sa vitesse se mesure en chronométrant son départ de la première électrode et son arrivée à la seconde. Le chiffre trouvé correspond parfois à celui que l'on calcule par l'effet Hall, ou parfois en diffère. Dans ce dernier cas, il est vraisemblable que les formules que j'ai citées sont trop simples. Il faut ici remarquer que la même chose s'observe quand on injecte les électrons dans un semi-conducteur du type *p*, et que la combinaison d'un semi-conducteur de ce type avec un semi-conducteur du type *n* fournit un redresseur excellent.

On aimerait une règle générale qui serve à déterminer quelles sont les impuretés — un terme plus large, tel qu'anomalies, conviendrait mieux — qui produisent le type *p*; quelles sont celles qui produisent le type *n*. Cette règle se fera peut-être encore attendre, mais certains cas semblent faciles à interpréter. Prenons, par exemple, l'arsenic dans le germanium. L'atome d'arsenic a un électron de plus que l'atome de germanium. Il est très plausible de supposer que lorsqu'un atome d'arsenic vient s'insérer dans un lieu du réseau qui devrait être occupé normalement par un atome de germanium, l'électron supplémentaire devient une sorte de cinquième roue qui ne sait où se placer et s'en va errer dans la substance; c'est un électron libre. La comparaison de la cinquième roue est meilleure qu'elle ne le paraît au premier chef. Les électrons extérieurs d'un atome de germanium sont au nombre de quatre et prennent dans le germanium pur une disposition tétraédrique reliée aux dispositions identiques des atomes voisins; dans ce tissu il n'y a point de place pour un cinquième électron. Prenons maintenant le germanium mélangé de gallium. L'atome de gallium a un électron de moins que celui de germanium. Ses électrons extérieurs sont au nombre de trois. Il est facile d'imaginer que lorsque l'on a poussé un atome de gallium dans un lieu du réseau qu'occuperait normalement un atome de germanium, il y a un trou à la place du quatrième électron, et ce trou se propage à travers le corps. Mais ce n'est là qu'une comparaison. On peut l'utiliser comme moyen mnémotechnique à condition de ne pas la pousser trop loin.

Remerciement. L'auteur remercie la compagnie des Bell Telephone Laboratories Incorporated, New York, qui a permis la publication de cet article.

Revue des livres

BIOLOGIE

DAWES, Ben: *A Hundred Years of Biology*. Pp. 429. Gerald Duckworth and Company Limited, Londres. 1952. 30s.

Tous les historiens scientifiques savent que les difficultés augmentent à mesure que l'on approche de l'époque contemporaine et qu'elles s'intensifient au moment même où la méthode et la nomenclature d'une science deviennent familières. La raison de cette apparente contradiction est simple. Jusqu'à un certain point — en général le début de la génération actuelle — l'historien peut se permettre d'oublier les lignes secondaires de développement, mais en atteignant la période moderne mieux connue, il n'a aucune idée de la direction principale et se trouve donc obligé de les examiner toutes. Le Dr. Dawes s'est attaqué avec grand courage à la tâche gigantesque qu'il s'est fixée et en a tiré un volume des plus utiles. Toutefois, la plupart des chapitres montrent la dichotomie mentionnée plus haut — en une période antérieure traitée historiquement et une plus récente qui prend presque la forme d'un dictionnaire. Il s'agit là d'un fait inhérent au sujet sans relation avec le savoir ou l'habileté littéraire de l'auteur. Son œuvre est, en effet, un ouvrage de référence indispensable qui comblera un vide sérieux pour les biologistes de toutes les catégories. On y trouve une bibliographie de valeur et une admirable table des matières et des noms. Des dix-neuf chapitres, les plus faciles à lire sont peut-être ceux qui traitent de la

biologie marine et des parasites, sans doute parce qu'ils se prêtent le mieux au traitement historique proprement dit. Ce qui ne signifie pas que les moins accessibles sont moins utiles. Nous pensons bien au contraire que l'inverse est peut-être le cas et que la valeur du livre comme ouvrage de référence augmentera avec les années. CHARLES SINGER

OPARIN, A. I.: *The Origin of Life*, traduit en anglais par Sergius Morgulis. Pp. 270 et des figures. Dover Publications Inc., New York. 1953. Relié $3; broché $1,70.

Le renouveau d'intérêt manifesté récemment pour l'origine de la vie ne cède le pas qu'à celui montré pour les voyages interstellaires auquel il est relié, car ils représentent tous deux une aventure dans le mystère du passé. Si la vie sur cette planète n'est pas un fait unique et existe dans d'autres mondes, il faudrait d'abord connaître son origine dans celui-ci. L'intérêt actuel diffère de l'ancien: il ne s'agit plus d'établir l'idée impie que la vie ne fut pas créée mais naquit d'elle-même. La plupart des savants sont prêts à admettre cela; ce que le public et eux-mêmes veulent maintenant est une idée plus précise de la façon dont le fait s'est produit. Toutes ces questions sont parfaitement traitées dans ce livre d'Oparin dont une nouvelle édition vient de paraître avec une introduction récente du Professeur Morgulis. Nous l'accueillons avec d'autant plus de plaisir que l'édition antérieure est presque introuvable.

Bien qu'il n'ait pas été possible d'y incorporer certains des apports les plus nouveaux de l'auteur qui amplifient et approfondissent ses idées originales, le livre a bien surmonté l'épreuve du temps et sa thèse centrale reste inchangée: la vie sur terre résulta de l'action combinée de la lumière avec le méthane, l'ammoniaque et le gaz carbonique qui formaient probablement l'atmosphère de la planète primitive. Cette supposition reçut, en fait, confirmation remarquable quand Urey et Miller réussirent à produire par excitation électrique plusieurs acides aminés, constituants caractéristiques des protéines, à partir d'un tel mélange gazeux. Le Professeur Morgulis a apporté d'autres développements et confirmations, en particulier sur l'importance des enzymes protéiques. Sur un point au moins il se trouverait en désaccord avec Oparin, quand il essaie d'identifier gène et virus et suggère que la vie résulta de variations fortuites opérant sur une concentration de substances complexes. Oparin a toujours cru que les processus et matériaux de la vie forment un tout indissoluble.

Citons, pour résumer ses conclusions, un passage de l'article de l'auteur dans l'Encyclopédie Soviétique[1]: «La vie est une forme particulière du mouvement de la matière qui parut à un certain stade de son développement historique et est actuellement représentée sur notre planète par un nombre immense de systèmes individuels appelés organismes.» J. D. BERNAL

BOTANIQUE

CRANWELL, Lucy M.: *New Zealand Pollen Studies: The Monocotyledons, a Comparative Account.* Bulletin of the Auckland Institute and Museum, No. 3. Pp. 91 avec 8 phototypes, 66 figures dans le texte et une carte. Harvard University Press, Cambridge, Mass., et Auckland Institute and Museum, Auckland, N.Z. 1953. Relié, 30s.; broché, 20s.

Miss Lucy Cranwell (Mrs. Watson Smith) publia la première de ses *New Zealand Pollen Studies* (sous forme d'index) en 1942. L'œuvre actuelle fait l'exposé systématique sur une échelle beaucoup plus vaste des pollens des Monocotylédones de Nouvelle-Zélande. Les 17 familles intéressées reçoivent un traitement proportionné à leur intérêt et leur importance palynologique; les Lis, les Joncs et les Orchidées sont donc traités plus longuement que le reste. L'étude de chaque famille est précédée d'un résumé des travaux antérieurs depuis l'époque de Grew et de Malpighi jusqu'à l'heure actuelle. Suit la description des espèces qui, grâce aux nombreuses et excellentes photographies, facilitera certainement beaucoup la tâche des analystes futurs des pollens. L'ouvrage renferme aussi un glossaire, des aides à l'identification des pollens, une table synoptique des caractères polliniques, une bibliographie de 247 titres et un index.

La monographie de Mrs. Watson déborde de points intéressants pour le profane et fait un apport remarquable à un sujet en voie de développement. H. A. HYDE

RAMSBOTTOM, John: *Mushrooms and Toadstools.* Pp. 46, avec 70 planches. Collins, Londres. 1953. 30s.

Ce nouveau numéro de la série *New Naturalist* doit sa variété et sa richesse au demi-siècle de recherches du Dr. Ramsbottom dans la nature, les bibliothèques et les herbiers. Au cours de l'exposé biologique des champignons de grande taille, l'étude de leurs besoins au cours de leur croissance sert à éclaircir la question de leur apparition saisonnière, les pages sur les caractères des spores conduisent aux principes de classification et la description de la structure sclérotiforme amène à l'ergot et au cordiceps.

Dans les chapitres sur l'œcologie mycologique, l'élagage du texte a sérieusement raccourci la section des prairies, marécages et dunes de sable, mais a épargné en grande partie l'étude des champignons sylvestres. A part les listes qui figurent dans ces pages, il n'y a pas de compte rendu systématique des agarics, mais certains chapitres traitent superficiellement des lycoperdons et géasters, satyres fétides et phalloïdes, des champignons de nids d'oiseaux et des truffes.

Le caractère distinctif de l'œuvre paraît le plus nettement dans l'étude des champignons comestibles et vénéneux, la culture des premiers, la carie sèche, la cueillette des truffes, les ronds de fées et l'histoire de la mycologie. Les faits s'y mêlent aux légendes variées mises à jour par l'auteur au cours de ses explorations géniales dans les chemins détournés de la littérature et du folklore.

Un dernier chapitre traite de l'utilisation des micro-champignons dans les fermentations industrielles et la fabrication de la pénicilline. Les photographies en couleurs n'ont pas grand rapport avec le texte, mais sont en majorité vraisemblables, et toutes sont agréables à regarder. R. W. MARSH

CHIMIE

VON DECHEND, Herta: *Justus von Liebig in eigenen Zeugnissen und solchen seiner Zeitgenossen.* Pp. 141 et trois planches. Verlag Chemie, Weinheim. 1953. 8,40 marks.

La Société du Musée Liebig présente ce volume attrayant; son auteur et celui de l'introduction élogieuse mais avertie, le Professeur Hartner, font tous deux partie de l'*Institut für Geschichte der Naturwissenschaften* de Francfort-sur-le-Main. Les quatre premières pages se composent d'extraits de l'autobiographie de Liebig, les trente-trois dernières renferment la liste indispensable de ses publications, diverses notes explicatives, de brefs détails sur ses contemporains et une bibliographie sur le grand chimiste. Le reste de l'ouvrage

[1] Traduction française dans «Questions Scientifiques», II. Paris. 1953.

est fait d'extraits bien choisis de ses propres lettres et de celles de ses collègues savants, de préférence personnelles et disposées par ordre chronologique sur les pages de gauche et de droite respectivement.

Un trait stimulant du livre est l'arbre généalogique montrant la relation de Liebig avec un grand nombre des chimistes fameux d'autres pays.

F. CHALLENGER

The Essays of Jean Rey, nouveau tirage en fac-similé de l'édition originale de 1630, avec une introduction de Douglas McKie. Pp. XLIV + 144 + XIV–LXXXIII. Edward Arnold and Company, Londres. 1951. 21s.

Jean Rey, auteur des célèbres «Essais», appartenait à une famille de petits propriétaires de Dordogne et obtint son titre de docteur en médecine à l'Université de Montpellier en 1609. Sa date de naissance exacte n'est pas connue, mais on la situe vers 1582 ou 1583; il mourut autour de 1645. Bien que sa réputation de médecin fût considérable à l'époque, son nom nous est parvenu grâce à sa théorie de la combustion exprimée dans les essais reproduits ici en fac-similé à partir de l'exemplaire original du British Museum; les exemplaires de cette édition sont maintenant très rares, leur nombre n'excédant pas sept. Selon Rey, l'augmentation de poids des métaux calcinés serait due à l'air «qui dans le vase est devenu plus dense, plus lourd et, en quelque sorte, plus collant par le chauffage prolongé de la fournaise: lequel air se mélange au résidu du métal (agitation fréquente aidant) et s'accroche à ses particules les plus menues». Il était certainement dans la bonne voie, mais c'est Lavoisier qui devait s'y engager véritablement.

Le supplément renferme le texte de lettres échangées entre Mersenne et Rey d'une part et Mersenne et Brun de l'autre, qui ont grand intérêt. Nous sommes reconnaissants aux éditeurs d'avoir bien voulu mettre à la disposition du public ce volume fac-similaire.

E. J. HOLMYARD

INDUSTRIE

DESCH, H. E.: *Timber; its Structure and Properties*. Troisième édition, revue. Pp. XXIV + 350. Macmillan and Company Limited, Londres. 1953. 25s.

La première édition du livre, parue en 1938, établit rapidement sa réputation de clarté et de valeur en tant que volume d'introduction à l'étude du bois d'œuvre. Le plan général du texte a été conservé mais mis à jour dans l'édition actuelle et plusieurs illustrations nouvelles ont été ajoutées: il y a maintenant 65 planches et 46 figures. Les parties traitant de la classification des arbres et de la nomenclature des bois ont été rédigées à nouveau, de même que le chapitre sur les défauts du bois. Le Dr. Desch a l'impression que l'importance du problème des dégâts causés par les moisissures et les insectes a été exagérée; selon lui, ils pourraient être en grande partie évités par une connaissance plus vaste des faits fondamentaux et davantage d'entretien. Il y a trois suppléments dont l'un est une liste utile des genres d'arbres à bois dur les plus communs donnant les familles auxquelles ils appartiennent. L'ouvrage comprend aussi une biographie choisie et une table des matières qui augmentent sa valeur. En tant qu'exposé bref de la constitution et des propriétés du bois d'œuvre il sera certainement utile longtemps encore à tous ceux qui s'intéressent de près ou de loin à la technologie du bois.

MÉDECINE

GREY WALTER, W.: *The Living Brain*. Pp. X + 216, avec des illustrations en demi-teintes et des figures. Gerald Duckworth and Company Limited, Londres. 1953. 15s.

Ce livre est, paraît-il, le premier à présenter au public moyen les travaux récents sur le fonctionnement du cerveau. Sa portée réelle est beaucoup moindre, car il s'occupe presque exclusivement d'établir la relation entre l'activité électrique du cerveau révélée par l'encéphalogramme et le comportement de l'individu. L'auteur a fait des apports de valeur sur la question, il possède un bagage solide de neurophysiologie et est de plus le chef reconnu de l'encéphalographie en Angleterre. Et pourtant, on reste sceptique devant les longs chapitres pleins de descriptions et d'images vivantes. Un des défauts les plus courants de ces spécialistes est de se passionner de leurs tracés de potentiels (ondes cérébrales) au point de presque en oublier la question fondamentale: comment l'activité des dix mille millions de cellules nerveuses du cerveau donne-t-elle naissance à ces potentiels vaguement enregistrés à la surface du cuir chevelu? L'électroencéphalographie reste donc une science empirique essayant de relier les diverses catégories d'ondes cérébrales au fonctionnement du cerveau dans son ensemble et même avec les actes de l'individu. Ces tentatives seraient beaucoup plus convaincantes si elles étaient accompagnées d'une critique serrée des faits à la base. Mais le Dr. Grey Walter est un enthousiaste qui se laisse emporter par ses idées et voudrait nous faire croire qu'on peut classer les êtres humains en types psychologiques distincts d'après quelques secondes d'enregistrement électroencéphalographique. Sa conclusion finale est que «nos connaissances sur le cerveau vivant sont maintenant suffisantes pour permettre de réduire le gaspillage matériel et les souffrances mentales dans le domaine éducatif, pénal et dans l'établissement de relations personnelles entre adultes».

La meilleure façon d'apprécier le livre est de se laisser gagner par l'enthousiasme de l'auteur. Les modèles ingénieux et «la tortue» en particulier n'irritent plus. Puisqu'ils donnent tant de plaisir à ceux qui les ont inventés, partageons cette joie et étonnons-nous de l'ingéniosité qui les a créés sans nous imaginer qu'ils ont une signification scientifique. A part quelques descriptions détaillées d'ondes cérébrales, le livre sera facile à lire. Il plaira non seulement aux philosophes et psychologues, mais au public qui s'intéresse aux merveilles de la science moderne.

J. C. ECCLES

PHYSIQUE

DE BOER, J. H.: *The Dynamical Character of Adsorption*. Pp. XV + 239. Oxford University Press, Londres. 1953. 30s.

L'adsorption sur une surface résulte de la présence sur elle pendant un temps déterminé de molécules la frappant avant de s'évaporer. Le phénomène a des applications importantes et variées telles que le soutirage du vin, le blanchiment des huiles, l'extraction des gaz malodorants ou dangereux ou de vapeur d'eau de l'air. L'adsorption permet de récupérer les dissolvants et de séparer les mélanges gazeux.

De Boer a étudié le phénomène en ce qui concerne le caractère dynamique des molécules, leur nombre, vitesse, direction de mouvement, temps de pause sur les surfaces. Pour ceux qui se représentent mal les grandeurs moléculaires et les nombres par cm^3 il offre un tableau agrandi où les molécules ont la taille d'abeilles et un centimètre carré devient un carré de 225 kilomètres de côté bâti sur une ligne allant de Hastings à Torquay. Chaque phénomène est décrit par rapport à ce «vol

d'abeilles merveilleuses». Le style est coulant et dynamique mais ne renonce nulle part à l'exactitude essentielle dans un texte scientifique qui offre à l'étudiant les éléments du sujet et au spécialiste ample matière à réflexion sur les questions non-résolues. Le livre traite surtout de l'adsorption due aux réactions physiques entre surfaces et liquides et très superficiellement de la chimiosorption. Il apportera plaisir et instruction à beaucoup.

HUGH TAYLOR

MOTT, N. F.: *Elements of Wave Mechanics*. Pp. 156. Cambridge University Press, Londres. 1952. 21s.

La préface déclare que le but du livre est de «remplacer l'ouvrage précédent de l'auteur *An Outline of Wave Mechanics*, publié par Cambridge University Press et actuellement épuisé. Il s'adresse aux étudiants de dernière année de physique expérimentale et servira d'introduction à des manuels plus poussés . . .». En fait, il n'exécute que la seconde de ces intentions et ne saurait remplacer le volume de 1930 qui était une œuvre remarquable, de grande valeur non seulement pour l'étudiant de physique mais pour ceux qui cherchent à comprendre la théorie de la mécanique ondulatoire. L'ouvrage précédent permettait de saisir la plupart des idées même sans connaissances mathématiques spéciales. Celui-ci est plus condensé et détaillé au point de vue mathématique, mais en plusieurs endroits il faut extraire la pensée des équations, ce qui n'aidera pas à élargir le cercle de ses lecteurs. Beaucoup regretteront ce changement de nature du livre, espérant que l'auteur et les éditeurs mettront le volume précédent à jour ou réimprimeront celui-ci en y incorporant davantage de texte explicatif — ce en quoi N. F. Mott excelle. Sous sa forme actuelle, l'ouvrage rendra grand service à l'étudiant de physique et les exercices en fin de certaines divisions lui permettront de se rendre compte de ce qu'il a compris. On regrettera peut-être que la relation $W = h\nu$ ne fasse pas mention de l'énergie de masse car, bien qu'elle soit parfaitement correcte ainsi, cette forme différente pourrait déconcerter les débutants. L'addition d'un chapitre préliminaire expliquant l'origine de la mécanique ondulatoire sera nécessaire avant que le livre puisse servir d'introduction à des œuvres plus poussées. A condition que le lecteur soit à même de se renseigner sur ce point à l'aide de conférences ou autres moyens, le volume actuel guidera utilement dans la lecture de textes plus avancés. Il rendra service également comme ouvrage de référence.

W. HUME-ROTHERY

ROSSI, Bruno: *High-energy Particles*. Pp. XII + 569, avec des illustrations en demi-teintes et au trait. Constable and Company, Londres. 1953. 65s.

La publication d'un ouvrage sur les particules à forte énergie par un physicien atomique distingué sera bien accueilli par le nombre croissant de ses collègues qui s'occupent de cette question. Avant 1945, ces particules étaient exclusivement du domaine du physicien des rayons cosmiques; il est grand temps qu'un volume traitant des deux méthodes d'étude des interactions nucléaires vienne enfin consolider la similitude d'intérêt de ces chercheurs et de ceux qui utilisent des particules accélérées artificiellement.

On définit les particules à forte énergie comme étant celles dont l'énergie excède l'énergie de liaison des particules nucléaires. Le livre fait un exposé complet de nos connaissances sur ce point à la fin de 1951, combinant l'aspect historique avec le développement logique de la question. Une courte description des méthodes expérimentales employées suit le compte rendu détaillé de la théorie des interactions électromagnétiques des particules. Les propriétés des particules élémentaires sont étudiées plus longuement et le chapitre suivant s'occupe très en détail de la théorie des gerbes en cascade. Un autre plus bref relie les faits expérimentaux et théoriques en ce qui concerne les interactions électromagnétiques. Les deux derniers, formant environ un tiers du livre, sont consacrés aux connaissances obtenues sur les interactions nucléaires grâce aux expériences sur les particules accélérées artificiellement et aux études de rayons cosmiques. Vu l'état actuel de la question, il n'est pas étonnant que le dernier chapitre soit le plus long de tous. Il comprend une très belle série de 16 microphotographies bien choisies faites à partir de plaques photographiques expérimentales et de 14 vues prises en chambre d'ionisation. Il y a quatre brefs suppléments mathématiques et deux autres sur les unités et l'atmosphère standard. La bibliographie offre près de 500 références.

Le point de vue est surtout expérimental et la théorie du méson est volontairement évitée. Le manuel comble un vide urgent, car beaucoup de son contenu est introuvable hors des textes originaux. Il aidera à préserver l'unité de la nomenclature des physiciens des rayons cosmiques et de l'accélération.

Dans un sujet à progrès aussi rapide, il était inévitable que plusieurs développements importants se produisent pendant l'impression d'un ouvrage le concernant, surtout parmi les groupes utilisant les nouveaux accélérateurs à forte énergie. Malgré cela, l'instinct de l'auteur pour les tendances les plus fructueuses des recherches prolongera de beaucoup la vie utile du livre. La présentation est bonne et les très nombreux graphiques, figures et tableaux sont reproduits avec clarté et exactitude.

A. G. MADDOCK

WHITTAKER, Sir Edmund: *History of the Theories of Aether and Electricity: The Modern Theories*, 1900–1926. Pp. XI + 319. Thomas Nelson and Sons Limited, Londres. 1953. 32s. 6d.

Un compte rendu du premier volume de l'œuvre, qui traitait des théories classiques, a paru dans notre numéro de janvier 1952. Sir Edmund Whittaker y promettait un second volume allant jusqu'à la période contemporaine. Mais la richesse des matériaux et des théories physiques nouvelles s'est montrée telle qu'il s'arrête à l'année 1926 et qu'une troisième partie est annoncée pour la période 1926–50.

Le premier quart du siècle assista à une véritable fermentation d'idées en physique. Du côté expérimental, citons seulement la radioactivité, l'électron et le proton, les isotopes, la structure de l'atome, la diffraction des rayons X par les cristaux, la photo-électricité, la diffraction des électrons et l'analyse de séries dans le spectre. Du côté théorique, il y eut les progrès de la relativité spéciale, de la mécanique quantique, de la relativité générale, des mécaniques matricielle et ondulatoire. Nous sommes bien loin de l'éther.

La tâche de relater cette révolution des sciences physiques en montrant à la fois l'aspect expérimental et théorique et leur influence mutuelle était herculéenne. Mais l'auteur a combiné tous ces éléments en un texte logique, faisant preuve de jugement et de sens des proportions. Les principales recherches sont présentées avec suffisamment de détails pour permettre de

suivre le développement des idées. La partie historique est très bien documentée et renvoie aux articles originaux. Pas un seul de première importance ne semble avoir été oublié; les lectures nécessaires ont dû être colossales.

Cette grande œuvre est une mine d'information, de valeur inestimable comme ouvrage de référence. En félicitant Sir Edmund Whittaker qui est maintenant dans sa 81e année d'avoir terminé ce volume, souhaitons qu'il lui soit possible de mettre ses projets à exécution et de faire paraître un troisième volume allant jusqu'en 1950.

H. SPENCER JONES

SCIENCES GÉNÉRALES

Kosmos Lexikon der Naturwissenschaften, A–K. Pp. 1591. Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde; Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1953. Mi-lin, 29,50 marks; mi-cuir, 36 marks.

L'influence croissante de la science sur la vie courante a créé un besoin réel de livres et de dictionnaires permettant au public intéressé de se renseigner sur les termes rencontrés dans des articles de journaux, des causeries radiophoniques ou télévisées et des conférences générales. Ce manque semble avoir été comblé avec extrême compétence par le Dictionnaire des Sciences, biologiques en particulier, de la Société Kosmos. Une équipe de spécialistes, pour la plupart professeurs d'Université, a réuni une liste de 20 000 définitions groupées par ordre alphabétique. Le volume actuel s'arrête à K.

La liste est faite de termes utilisés dans les diverses branches scientifiques représentées chacune par un symbole placé après le terme et de noms de savants distingués d'aujourd'hui et d'autrefois de tous les pays. Une courte biographie et une indication de la spécialité accompagnent chaque nom. Le style des définitions est simple et sera compris de tous. Le texte est illustré de figures clairement annotées et de bonnes planches en couleurs. Jusqu'ici, la liste est remarquablement à jour; des renvois ont été ajoutés là où ils étaient nécessaires et des ouvrages de référence sont cités pour ceux qui désirent des détails supplémentaires.

Le dictionnaire fera une addition utile aux bibliothèques publiques et scolaires et sera un guide sûr dans la complexité toujours croissante de la terminologie scientifique moderne.

G. SCHLESINGER

ZOOLOGIE

GRAY, James: *How Animals Move.* Pp. 114, avec 15 planches et 52 figures dans le texte. University Press, Cambridge. 1953. 16s.

Livre tiré d'une série de conférences faites pour les petits et les grands par le Professeur Gray à la *Royal Institution* dans l'hiver 1951–52. Il résume tous les travaux réalisés pendant les trente dernières années sur la locomotion animale, principalement sous l'inspiration de Gray et grâce à ses recherches antérieures. L'étude débute en citant quelques lois simples de mécanique, lois qui s'appliquent à tout mouvement vivant ou non et montrent comment l'évolution peut expliquer le développement d'organes de locomotion de plus en plus perfectionnés, des nageoires devenant des membres et des membres, des ailes. Les exemples qui illustrent la discussion sont tirés de toutes les divisions du règne animal, de l'amibe à l'homme; les pages traitant de la nage et de la reptation des serpents sont particulièrement intéressantes, car l'auteur y a consacré beaucoup d'efforts. Les travaux récents sont aussi expliqués dans certains cas, tels que ceux sur le vol des diptères et sur les champs électriques que l'on constate autour du corps de certains poissons.

La matière première du livre est captivante et le Professeur Gray la présente avec un art parfait: le style, simple et direct, éclaircit les points compliqués et les rend accessibles à tous. L'argumentation progresse avec une maîtrise complète. Quelques dessins sont assez grossiers, mais ils illustrent bien le texte dans l'ensemble et les planches offrent une collection splendide de photographies d'action dramatique.

L. HARRISON MATTHEWS

KUHN-SCHNYDER, Emil: *Geschichte der Wirbeltiere.* Pp. 156. Benno Schwabe Verlag, Bâle. 1953. 14 francs suisses.

Ce petit volume, à peine plus long qu'un gros opuscule, traite de l'évolution des vertébrés. Il est tiré principalement de conférences de vulgarisation données pendant l'hiver 1949–50 à la *Volkshochschule* de Zurich et parues ensuite dans sa revue en une série de dix articles. Ces derniers furent revus et publiés en un seul volume en 1951, puis revus et augmentés une seconde fois avec l'addition de notes plus complètes. Telle qu'elle est, l'œuvre a maintenant trois grandes qualités. Elle est d'abord clairement et simplement écrite, avec de belles illustrations — pour la plupart de l'artiste J. Mayer-Gräter mort en 1952. Elle est ensuite d'un niveau ni trop élevé pour le profane, ni trop faible pour l'étudiant d'anatomie comparée auquel elle donne des fondements de paléontologie grâce à ses notes. Finalement, elle offre d'habiles notes bio-bibliographiques sur les fondateurs de la paléontologie, depuis Cuvier et William Smith jusqu'à Broom et Weidenreich, à mesure que leurs noms paraissent dans le texte. L'introduction de matériaux historiques de cette façon dans une relation scientifique est une bonne idée qui vaut la peine d'être exploitée dans d'autres sciences. Les meilleures pages, et sans doute les mieux illustrées, sont celles qui traitent de la difficile question de l'invasion des terres et du passage de poisson à amphibie.

CHARLES SINGER

PALOMBI, Arturo et SANTARELLI, Mario: *Gli animali commestibili dei mari d'Italia.* Pp. VIII + 349 et 261 illustrations, dont deux en couleurs. Ulrico Hoepli, Milan. 1953. 3800 lires.

Ce livre bien présenté sur papier couché renferme un très grand nombre d'illustrations, dont la plupart sont en demi-teintes et deux des planches en couleurs représentent quatre espèces différentes de crevettes roses. L'ouvrage est, à proprement parler, un catalogue des animaux marins comestibles des eaux italiennes, comprenant poissons, tuniciers, échinodermes, mollusques et crustacés. Les auteurs ont intentionnellement accordé une page à chaque espèce traitée, l'accompagnant d'une excellente figure destinée à rendre l'identification aussi aisée que possible et d'une courte description ainsi que de quelques mots sur l'importance économique, l'habitat et la pêche. Vient ensuite la liste des noms locaux de l'animal, donnant non seulement ceux qu'il porte dans les diverses régions d'Italie, mais aussi dans un certain nombre d'autres pays. La description cite la forme, la couleur et la taille. Il est intéressant de noter que quatre oursins différents (*Paracentrotus lividus, Sphaerechinus granularis, Psammechinus microtuberculatus* et *Arbacia aequituberculatus*) sont comestibles et que parmi les autres invertébrés ainsi utilisés se trouvent des céphalopodes, des gastropodes (dont les lépas, l'haliotide et les liparis), des bivalves et des crustacés (crevettes grises et roses, homards, crabes et squilles). Félicitons les auteurs pour ce manuel d'introduction très utile au sujet.

T. A. STEPHENSON

Livres reçus

(*Note.* La mention à cette page n'exclut pas la possibilité de revue ultérieure.)

BIOLOGIE

RIES, Erich (publié par GERSCH, Manfred): *Biologie der Zelle*. Pp. 552. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig. 1953. DM. 24,40.

ROBINSON, F. A.: *Antibiotics*. Pp. 132. Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1953. 15s.

Symposia of the 6th International Congress of Microbiology, en six volumes: *Bacterial Cytology; Growth Inhibition and Chemotherapy; Nutrition and Growth Factors; Microbial Metabolism; Interaction of Viruses and Cells; Actinomycetales, Morphology, Biology and Systematics*. Fondazione Emanuele Paternò, Rome. 1953. 2000, 1000, 1400, 1000, 1300 et 1600 lires respectivement.

WILLMER, E. N.: *Tissue Culture*. Pp. 175. Methuen and Company Limited, Londres. 1953. 9s. 6d.

BOTANIQUE

JAMES, W. O.: *Plant Respiration*. Pp. 281. Oxford University Press, Londres. 1953. 30s.

CHIMIE

Les Applications de la Mécanique Ondulatoire à l'Etude de la Structure des Molécules: Réunions d'Etudes et de Mises au Point, tenues sous la présidence de Louis de Broglie. Pp. 223. Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris. 1953. Fr. 1600.

BAILAR, J. C. (publié sous la direction de): *Inorganic Syntheses*, Vol. IV. Pp. 218. McGraw-Hill Book Company Inc., New York. 1953. 36s.

EGLOFF, G.: *Physical Constants of Hydrocarbons*, Vol. 5. Pp. 524. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1953. 160s.

GAUTIER, J. A.: *Mises au Point de Chimie Analytique Pure et Appliquée*, première série. Pp. 172. Masson et Cie., Paris. 1953. Fr. 1400.

LIPSON, H. et COCHRAN, W.: *The Determination of Crystal Structure*, Vol. 3: *The Crystalline State*. Pp. 345. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1953. 50s.

KOLTHOFF, I. M. et LINGANE, J. J.: *Polarography* (2e édition révisée), Vols. I et II. Pp. 990. Interscience Publishers, New York et Londres. 1953. $11 et 12,50 respectivement.

MONTEATH ROBINSON, J.: *Organic Crystals and Molecules*. Pp. 340. Cornell University Press, Ithaca, New York; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1953. 32s. 6d.

PAULING, Linus: *General Chemistry*, 2e édition. Pp. 710. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 1953. 51s.

PRICE, Charles C. (publié par): *Organic Syntheses*, Vol. 33. Pp. 115. Chapman and Hall Limited, Londres. 1953. 28s.

RADLEY, J. A.: *Starch and its Derivatives* (3e édition révisée), Vol. II. Pp. 465. Chapman and Hall Limited, Londres. 1953. 65s.

RANDALL, J. T.: *Nature and Structure of Collagen*. Pp. 269. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New York. 1953. 42s.

SHERWOOD TAYLOR, F.: *Organic Chemistry*, 5e édition. Pp. 612. William Heinemann Limited, Londres. 1953. 16s.

WILSON, A. J. C. (publié par): *Structure Reports for* 1945–1946. Vol. 10. Pp. VIII + 325. A. Oosthoek's Uitgevers Mij., Utrecht. 1953. 45 florins.

YOUNG, Ronald S.: *Industrial Inorganic Analysis*. Pp. 368. Chapman and Hall Limited, Londres. 1953. 36s.

GÉOGRAPHIE

CHATTERJI, S. C.: *The Physical Basis of Geography*. Pp. 430. Ram Narain Lal, Allahabad. 1953. 8 roupies.

KENDREW, W. G.: *The Climates of the Continents*, 4e édition. Pp. 607. Oxford University Press, Londres. 1953. 50s.

ROSSIER, Paul: *Géographie Mathématique*. Pp. 198. Société d'Editions d'Enseignement Supérieur, Paris. 1953. Fr. 600.

TURRILL, W. B.: *Pioneer Plant Geography*. Pp. 267. Martinus Nijhoff, La Haye. 1953. 19 florins.

HISTOIRE DE LA SCIENCE

MASON, S. F.: *A History of the Sciences*. Pp. 520. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1953. 28s.

MÉDECINE

British Veterinary Codex, 1953. Pp. 737. The Pharmaceutical Press, Londres. 1953. 45s.

Calendar of the Pharmaceutical Society of Great Britain, 1953–1954. Pp. 300. The Pharmaceutical Press, Londres. 1953. 12s. 6d.

DRUMMOND, G. C.: *Pharmacy and Medicine in Old Edinburgh*. Pp. 35. The Pharmaceutical Press, Londres. 1953. 2s. 6d.

PHYSIQUE

Comptes Rendus du premier Congrès International de Microscopie Electronique, Paris, 1950. Pp. 768. Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris. 1953. Fr. 8000.

FLEURY, P. et MATHIEU, J. P.: *Mécanique Physique*. Pp. 439. Editions Eyrolles, Paris. 1953. Fr. 2900.

HEISENBERG, W.: *Nuclear Physics*. Pp. 225. Methuen and Company Limited, Londres. 1953. 12s. 6d.

HERMANS, J. J.: *Flow Properties of Disperse Systems*. Pp. 445. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1953. 35 florins.

MEEK, J. M. et CRAGGS, J. D.: *Electrical Breakdown of Gases*. Pp. 507. Oxford University Press, Londres. 1953. 60s.

SEGRÈ, E. (publié par): *Experimental Nuclear Physics*, Vol. II. Pp. 600. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1953. 96s.

WHITFIELD, I. C.: *An Introduction to Electronics for Physiological Workers*. Pp. 236. Macmillan and Company Limited, Londres. 1953. 18s.

SCIENCES GÉNÉRALES

PRICE, H. H.: *Some Aspects of the Conflict between Science and Religion*. Pp. 54. Cambridge University Press, Londres. 1953. 3s. 6d.

TECHNOLOGIE

British Industries — Oil. Pp. 120. Cassell and Company Limited, Londres. 1953. 8s. 6d.

PERUCCA, Eligio (publié par): *Dizionario d'Ingegneria*. Vol. III, *FOS–MOS*. Pp. 1043. Unione Tipografico-Editrice Torinese. Turin. 12 000 lires.

ZOOLOGIE

DARTEVILLE, Edmond: *Echinides fossiles du Congo et de l'Angola*. Partie II. *Description systématique des Echinides fossiles du Congo et de l'Angola*. Pp. 240. Annales du Musée Royal du Congo Belge, Tervuren. 1953. Fr. belges 350.

MORET, Léon: *Manuel de Paléontologie Animale*. Pp. 759. Masson et Cie., Paris. 1953. Fr. 2880.

Notes biographiques sur les collaborateurs

F. M. BRUCE

Né à Aberdeen en 1912, étudia à *King's College*, Newcastle-upon-Tyne. Après avoir obtenu ses diplômes, poursuivit des recherches sur la mesure de précision des hautes tensions et les phénomènes relatifs aux étincelles entre deux pôles au même établissement et au *Queen Mary College*, Londres, s'intéressant spécialement aux caractéristiques de ces phénomènes dans des champs uniformes. Il entra après la guerre aux laboratoires de recherche de l'*English Electric Company Limited*. Nommé à la chaire d'électrotechnique au *Royal Technical College* de Glasgow en 1948, où il existe maintenant un centre reconnu de recherches facilitant l'étude des phénomènes concernant les hautes tensions.

T. A. STEPHENSON

Est né en 1908. Après avoir enseigné la Zoologie pendant huit ans à *University College* à Londres, il fut nommé en 1930 professeur de Zoologie à l'Université du Cap. En 1941, il revint comme professeur au *University College* d'Aberystwyth. Pendant l'expédition aux récifs de la Grande Barrière (1928–9), il dirigea l'équipe chargée de l'œcologie côtière. Il utilisa son séjour au Cap pour faire une étude biologique de la côte sud-africaine entre les laisses de marée. En 1946–8 et 1952 il fit un voyage en Amérique du Nord et aux Bermudes dans un but similaire. Il a écrit des articles sur les anémones de mer et une monographie sur les espèces britanniques que la *Ray Society* publia en 1928 et 1935. Son livre intitulé *Seashore Life and Pattern* parut en 1944.

ANNE STEPHENSON

Prit part à l'expédition de la Grande Barrière (1928–9) où elle étudia la reproduction des invertébrés de récifs; un compte rendu de ses travaux parut en 1934. Fut l'aide principale de son mari au cours de l'étude œcologique de la côte sud-africaine.

H. S. W. MASSEY

Né en 1908, fit ses études à l'Université de Melbourne. Effectua par la suite des recherches de physique atomique au Laboratoire Cavendish de Cambridge. En 1933 fut nommé directeur du Département de Physique Mathématique à *Queen's University*, Belfast et en 1938 à la chaire Goldsmid de Mathématiques à *University College*, à Londres. Il occupa ce poste jusqu'en 1950 où il fut nommé à la chaire Quain et devint directeur du Département de Physique du même établissement. Outre de nombreux articles et comptes rendus parus dans des revues scientifiques, il a publié en collaboration deux monographies: *The Theory of Atomic Collisions* (avec N. F. Mott) et *Electronic and Ionic Impact Phenomena* (avec E. H. S. Burhop) ainsi que *Negative Ions* et *Atoms and Energy*.

CHARLES SINGER

Naquit à Londres en 1876 et étudia à *University College*, Londres, à *Magdalen College*, Oxford et à Heidelberg. Il a été professeur d'histoire médicale à l'Université de Londres et professeur temporaire d'histoire scientifique à l'Université de Californie. On trouve parmi ses œuvres: *A History of Biology*, *A Short History of Science* et *The Earliest Chemical Industry*.

JAMES KENDALL

Est professeur de Chimie et Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université d'Edimbourg. Il termine cette année sa période d'activité comme président de la *Royal Society* de cette ville. A publié les livres suivants: *Great Discoveries by Young Chemists*, *Humphry Davy: «Pilot» of Penzance* et *Michael Faraday: Man of Simplicity*. Il fit ses études à l'Université d'Edimbourg puis des travaux à celle d'Heidelberg, à l'institut Nobel de Stockholm et à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg.

HERVÉ HARANT

Naquit à Paulhan (Hérault) en 1901 et étudia aux Universités de Strasbourg, Montpellier et Paris. Il devint assistant à la Faculté des Sciences de Montpellier et fut ensuite successivement chef de travaux d'anatomie pathologique et agrégé de la Faculté de Médecine. Il est actuellement professeur d'Histoire Naturelle, de parasitologie et de pathologie exotique à la Faculté de Médecine de Montpellier et directeur du jardin botanique. Il a publié des articles de zoologie marine, d'anatomie pathologique, de parasitologie, d'épidémiologie, de botanique et d'œcologie.

KARL K. DARROW

Né en 1891. Etudia à l'Université de Chicago où il poursuivit des recherches après l'obtention de ses diplômes. Il est attaché aux Laboratoires Téléphoniques Bell à New York depuis son doctorat reçu en 1917, mais fit des séries de conférences aux Universités de Chicago, Columbia, Stanford et à *Smith College*. Il a écrit: *Introduction to Contemporary Physics*, *Electrical Phenomena in Gases*, *Renaissance of Physics* et *Atomic Energy*. Ses conférences sur l'électronique de l'état solide, données à l'Université de Londres en 1953, sont sur le point de paraître dans *Research*. Il est secrétaire de l'*American Physical Society* depuis 1941.